



## **TUGAS AKHIR TERAPAN – RC 145501**

### **STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN LENTUR BALOK PRATEGANG DI DAERAH RISIKO GEMPA BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013 DAN ACI 318M-14 PADA STRUKTUR APARTEMEN ENVIRO BEKASI**

**HEMAS MUTIA ANGGRAINI**  
**NRP. 3116 105 011**

**Dosen Pembimbing I**  
**Prof. Tavio., ST., MT., Ph.D**

**Dosen Pembimbing II**  
**Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka**

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL**  
**Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya**  
**2018**





## **TUGAS AKHIR – RC 145501**

### **STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN LENTUR BALOK PRATEGANG DI DAERAH RISIKO GEMPA BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013 DAN ACI 318M-14 PADA STRUKTUR APARTEMEN ENVIRO BEKASI**

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP. 3116105011

**Dosen Pembimbing 1 :**  
Prof. Tavio., ST., MT., Ph.D  
NIP. 19700327 199702 1 001

**Dosen Pembimbing 2 :**  
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka  
NIP.19550408 198203 1 003

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan ... “





## **FINAL PROJECT – RC 145501**

### ***STUDY COMPARISON OF PRESTRESS BEAM'S FLEXURAL STRENGTH ON EARTHQUAKE RISK AREA BASED ON SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013 AND ACI 318M-14 AT ENVIRO APARTMENT'S STRUCTURE BEKASI***

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP. 3116105011

**Academic Supervisor 1 :**  
Prof. Tavio., ST., MT., Ph.D  
NIP. 19700327 199702 1 001

**Academic Supervisor 2 :**  
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka  
NIP.19550408 198203 1 003

DEPARTEMENT OF CIVIL ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering Environment and Earth  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan ... “

## LEMBAR PENGESAHAN

### STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN LENTUR BALOK PRATEGANG DI DAERAH RISIKO GEMPA BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013 DAN ACI 318M-14 PADA STRUKTUR APARTEMEN ENVIRO BEKASI

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Program Studi S-1 Lintas Jalur Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihantoran  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

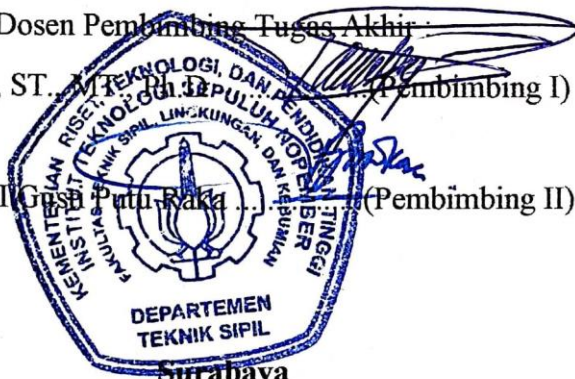
Oleh

**HEMAS MUTIA ANGGRAINI**

NRP. 3116105011

Disetujui Oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Prof. Tawio., ST., MT., Ph.D. (Pembimbing I)
2. Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka (Pembimbing II)



Surabaya  
JULI 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan ... “

# **STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN LENTUR BALOK PRATEGANG DI DAERAH RISIKO BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013 DAN ACI 318M-14 PADA STRUKTUR APARTEMEN ENVIRO BEKASI**

**Nama Mahasiswa : Hemas Mutia Anggraini**  
**NRP : 3116105011**  
**Departemen : Teknik Sipil, FTSL-ITS**  
**Dosen Pembimbing 1 : Prof. Tavio ST., MT., PhD**  
**Dosen Pembimbing 2 : Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka**

## **Abstrak**

*Suatu teknologi konstruksi dengan mengkombinasi antara beton mutu tinggi dengan baja mutu tinggi dengan cara menarik baja dan menahannya pada beton, sehingga membuat beton dalam keadaan tertekan yang disebut dengan beton prategang. Keuntungan beton prategang dibandingkan beton bertulang yaitu penggunaan dimensi penampang struktur prategang akan lebih kecil atau langsing, sebab seluruh luas penampang dipergunakan secara efektif. Dikarenakan kebutuhan akan ruang yang luas pada gedung Apartemen Enviro dimana digunakan sebagai ruang pertemuan maupun pesta maka pada lantai 12a dibangun multifunction hall. Atas dasar kebutuhan ruangan yang luas tanpa kolom sehingga membutuhkan balok yang panjang maka elemen struktur beton bertulang diganti menggunakan beton prategang.*

*Selain balok prategang juga meninjau sistem rangka momen dan lokasi gedung Apartemen Enviro. Berdasarkan identifikasi tanah dari hasil uji Standart Penetration Test (SPT) dan Peta Hazard 2017, diketahui bahwa Kota Bekasi merupakan*

*wilayah dengan jenis tanah sedang yaitu KDS D, maka struktur bangunan direncanakan dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Sedangkan untuk desain struktur mengacu pada SNI 2847:2013.*

*Dalam studi ini penulis juga membandingkan penggunaan tiga jenis peraturan yaitu SNI 2847-2002, SNI 2847:2013 dan ACI 318M-14 yang akan digunakan untuk merencanakan gedung Apartemen Enviro pada balok prategang dengan tinjauan kekuatan lentur. Studi ini dilakukan untuk mendapatkan peraturan mana yang paling efisien dan memenuhi segala persyaratan keamanan, sehingga nantinya perencanaan dapat dilaksanakan dengan tepat.*

***Kata Kunci : Beton Prategang, SRPMK, SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013, ACI 318M-14, Apartemen Enviro***

***STUDY COMPARISON OF PRESTRESS BEAM'S  
FLEXURAL STRENGTH ON EARTHQUAKE RISK AREA  
BASED ON SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013 AND ACI 318M-  
14 AT ENVIRO APARTMENT'S STRUCTURE BEKASI***

**Student : Hemas Mutia Anggraini**  
**NRP : 3116105011**  
**Departemen : Civil Engineering, FTSL-ITS**  
**Academic Supervisor 1: Prof. Tavio ST., MT., PhD.**  
**Academic Supervisor 2: Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka.**

***Abstract***

*A construction technology by combining high quality concrete with high quality steel by pulling steel and hold it to the concrete, so that makes concrete in a stressed state called as prestressed concrete. The advantage of prestressed concrete compared to reinforcement concrete is the use of dimensional cross-sectional prestress structure will be smaaler or slimmer, because the entire area of creoss section is used effectively. Due to the need of a spacious room in Enviro Apartement building where used as meeting room or party then on 12ath floor build as multifunction hall. On the basis if the need of a spacious room with no coloumns so that the length of the beam is very far rhenn the reinforcement concrete elemests are replaced using prestress concret.*

*In addition to prestress beam also review the moment frame system and the location of the Enviro Apartement building. Based on soil identification In addition to the prestressing beams also review the moment frame system and the location of the Enviro Apartment building. Based on soil identification from Standard*

*Test Penetration Test (SPT) and Hazard 2017, it is known that Bekasi City is a medium soil type is KDS D, then the structure of the building is planned by the method of Special Moment Resisting Frame System (SRPMK). While for structural design refer to SNI 2847: 2013.*

*In this study, the authors also compared the use of three types of regulations, namely SNI 2847-2002, SNI 2847: 2013 and ACI 318M-14 which will be used to plan Enviro Apartment building on prestressing beams with review of flexural strength. This study is conducted to get the most efficient and meet all the requirements of security, so that later planning can be executed appropriately.*

***Kata Kunci : Beton Prategang, SRPMK, SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013, ACI 318M-14, Apartemen Enviro***



## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena rahmat dan kesempatan yang telah dilimpahkan, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan **“Studi Perbandingan Kekuatan Lentur Balok Prategang Di Daerah Risiko Gempa Berdasarkan SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013 Dan ACI 318M-14 Pada Sturuktur Apartamen Enviro Bekasi”**. Dalam kesempatan ini penulis bermaksud mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang mendukung dan membantu atas terselesaikannya Tugas Akhir ini, yaitu :

1. Semua anggota keluarga yang telah memberikan semangat selama menjalani perkuliahan di ITS.
2. Prof. Tavo, ST., MT., PhD dan Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan banyak arahan serta bimbingannya dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Seluruh dosen pengajar di Departemen Teknik Sipil yang telah memberikan ilmu serta bimbingannya selama masa perkuliahan penulis.
4. Teman-teman departemen Teknik Sipil dan PSM ITS yang selalu memberikan motivasi dan bantuan selama proses penyusunan tugas akhir ini.

Dalam pembuatan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa tugas akhir yang penulis buat masih sangat jauh dari kesempurnaan. Jadi dEngan rasa hormat penulis mohon petunjuk, saran dan kritik terhadap tugas akhir ini. Sehingga kedepannya, diharapkan ada peraihan terhadap proposal tugas akhir ini serta dapat menambah pengetahuan bagi penulis.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan ... “

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
ABSTRAK .....	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xix
DAFTAR TABEL .....	xxi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Umum.....	5
2.2. Beton Prategang .....	5
2.2.1. Material Beton Prategang .....	5
2.2.2. Prinsip Beton Prategang .....	8
2.2.3. Sistem Beton Prategang.....	11
2.2.4. Tahapan Pembebanan.....	14
2.2.5. Kehilangan Gaya Prategang .....	15

2.3. Sistem Rangka PemIdentifikasi Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus .....	17
2.4. Perbandingan Peraturan SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013 dan ACI 318M-14 .....	21
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>25</b>
3.1. Umum.....	25
3.2. Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir .....	25
3.3. Pengumpulan Data .....	27
3.4. Studi Literatur.....	27
3.5. Kriteria Permodelan .....	28
3.6. Preliminary Desain .....	29
3.6.1. Perencanaan Dimensi Balok.....	29
3.6.2. Perencanaan Dimensi Balok Prategang.....	30
3.6.3. Perencanaan Dimensi Kolom .....	30
3.6.4. Perencanaan Dimensi Pelat .....	31
3.7. Pembebanan.....	32
3.7.1. Beban Mati .....	32
3.7.2. Beban Hidup.....	33
3.7.3. Beban Gempa .....	34
3.7.4. Kombinasi Pembebanan .....	39
3.8. Analisa Model Struktur .....	41
3.9. Perhitungan Struktur Non Prategang Menggunakan SNI 2847:2013 .....	41
3.9.1. Perhitungan Pelat Lantai.....	41
3.9.2. Perhitungan Tangga.....	42

3.9.3.	Perhitungan Balok .....	42
3.9.4.	Perhitungan Kolom.....	42
3.9.5.	Hubungan Balok Kolom.....	43
3.10.	Perhitungan Struktur Utama Prategang .....	43
3.10.1.	Gaya Prategang.....	43
3.10.2.	Tegangan Ijin.....	43
3.10.3.	Pemilihan Tendon Baja Prategang .....	44
3.10.4.	Kehilangan Prategang.....	44
3.10.5.	Kontrol Momen Retak.....	48
3.10.6.	Kontrol Momen Nominal .....	48
3.10.7.	Kontrol Kuat Batas Beton Prategang .....	49
3.10.8.	Kontrol Geser .....	49
3.10.9.	Kontrol Lendutan .....	49
3.10.10.	Daerah Limit Kabel.....	50
3.11.	Penulangan Lentur.....	51
3.12.	Penulangan Geser.....	51
3.13.	Tinjauan Gaya Lentur Berdasarkan SNI 03-2847-2002 dan ACI 318M-14 .....	51
3.14.	Pengankuran .....	51
3.15.	Hasil Perbandingan dan Pembahasan.....	52
3.16.	Kesimpulan dan Saran.....	52
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....		53
4.1.	Data Perencanaan .....	53
4.2.	Preliminary Desian.....	53

4.2.1.	Perencanaan Dimensi Balok.....	53
4.2.2.	Perencanaan Dimensi Pelat Lantai .....	55
4.2.1.	Perencanaan Dimensi Kolom .....	63
4.3.	Permodelan Struktur.....	68
4.3.1.	Perhitungan Berat Struktur .....	69
4.3.2.	Analisis beban Seismik .....	76
4.3.3.	Kontrol Desain .....	85
4.4.	Perencanaan Struktur Sekunder.....	90
4.4.1.	Perencanaan Pelat.....	90
4.4.2.	Perencanaan Tangga.....	108
4.4.3.	Perencanaan Balok Bordes .....	117
4.4.4.	Perencanaan Balok Anak.....	144
4.4.5.	Perencanaan Balok Lift .....	173
4.5.	Perencanaan Struktur Utama Non Prategang .....	201
4.4.1.	Perencanaan Balok Induk .....	201
4.5.2.	Perhitungan Kolom.....	229
4.6.	Perhitungan Struktur Utama Prategang .....	241
4.6.1.	Umum.....	241
4.6.2.	Perhitungan Tendon Prategang.....	242
4.6.3.	Perhitungan Kebutuhan Tulangan Lunak .....	266
4.7.	Studi Perbandingan Menggunakan SNI 03-2847-2002 dan ACI 318M-14 .....	304
4.7.1.	Perhitungan Tulangan Lentur Prategang Menggunakan SNI 03-2847-2002.....	304

4.7.2. Momen Nominal Prategang Menggunakan SNI 03-2847-2002 .....	316
4.7.3. Prestress Partial Ratio (PPR) .....	322
4.7.4. Perhitungan Tulangan Lentur Prategang Menggunakan ACI 318M-14 .....	322
4.7.5. Momen Nominal Prategang Menggunakan ACI 318M-14.....	335
4.7.6. Prestress Partial Ratio (PPR) .....	340
4.8. Hasil Perbandingan Studi Balok Prategang Berdasarkan SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013 Dan ACI 318M-14.....	341
4.8.1. Umum.....	341
4.8.2. Rekap Hasil Studi .....	341
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	343
5.1. Kesimpulan.....	343
5.2. Saran.....	343
DAFTAR PUSTAKA.....	345

“Halaman ini sengaja dikosongkan ... “



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1. 1</b> Denah Lokasi Pemasangan Balok Prategang Pada Lantai Atap .....	1
<b>Gambar 2. 1</b> Jenis-jenis baja untuk beton Prategang .....	7
<b>Gambar 2. 2</b> Konsep Beton Prategang sebagai Bahan yang Elastis .....	8
<b>Gambar 2. 3</b> Tendon dengan Eksentrisitas .....	9
<b>Gambar 2. 4</b> Tegangan yang Bekerja pada Beton Prategang .....	9
<b>Gambar 2. 5</b> Perbandingan Penulangan Prategang dengan Beton Bertulang.....	10
<b>Gambar 2. 6</b> Beban Merata yang Bekerja pada Beton.....	10
<b>Gambar 2. 7</b> Proses Pratarik .....	12
<b>Gambar 2. 8</b> Proses Pascatarik.....	13
<b>Gambar 2. 9</b> Peta respon spektra percepatan 0,2 detik ( $S_s$ ) di batuan dasar ( $S_b$ ) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun .....	18
<b>Gambar 2. 10</b> Peta respon spektra percepatan 1,0 detik ( $S_1$ ) di batuan dasar ( $S_b$ ) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun .....	19
<b>Gambar 3. 1</b> Sudut Pusat Tendon .....	45
<b>Gambar 3. 2</b> Daerah Limit Kabel .....	50
<b>Gambar 4. 1</b> Balok Primer (BI-1) .....	54
<b>Gambar 4. 2</b> Balok Sekunder (BA-1) .....	54
<b>Gambar 4. 3</b> Tinjauan Plat Lantai Tipe B1 .....	55
<b>Gambar 4. 4</b> Daerah Pembebanan Kolom .....	64
<b>Gambar 4. 5</b> Permodelan pada ETABS .....	69

<b>Gambar 4. 6</b>	Respon spectral percepatan periode 0,2 detik .....	78
<b>Gambar 4. 7</b>	Respon spectral percepatan periode 1 detik .....	79
<b>Gambar 4. 8</b>	Grafik Respon Spektrum Desain .....	85
<b>Gambar 4. 9</b>	Output ETABS nilai $T_c$ .....	87
<b>Gambar 4. 10</b>	Daftar Momen Pelat.....	94
<b>Gambar 4. 11</b>	Tampak Atas Penulangan Pelat .....	107
<b>Gambar 4. 12</b>	Tampak Tangga .....	109
<b>Gambar 4. 13</b>	Potongan Tangga .....	109
<b>Gambar 4. 14</b>	Pembagian Wilayah Geser Pada Balok ...	135
<b>Gambar 4. 15</b>	Detail Penulangan Balok Bordes .....	144
<b>Gambar 4. 17</b>	Pembagian Wilayah Geser Pada Balok ...	163
<b>Gambar 4. 18</b>	Detail Penulangan Balok Anak.....	172
<b>Gambar 4. 19</b>	Denah Lift .....	174
<b>Gambar 4. 20</b>	Pembagian Wilayah Geser Pada Balok ...	192
<b>Gambar 4. 21</b>	Detail Penulangan Balok Lift .....	201
<b>Gambar 4. 23</b>	Pembagian Wilayah Geser Pada Balok ...	219
<b>Gambar 4. 24</b>	Detail Penulangan Balok Induk .....	229
<b>Gambar 4. 25</b>	Detail Penulangan Kolom .....	241
<b>Gambar 4. 26</b>	Daerah pusat kern .....	245
<b>Gambar 4. 27</b>	Detail Penulangan Balok Prategang .....	304

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Tipikal Baja Prategang .....	7
<b>Tabel 2. 2</b> Nilai SDs .....	20
<b>Tabel 2. 3</b> Nilai SD1 .....	20
<b>Tabel 2. 4</b> Perbandingan SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013 dan ACI 318M-14 dengan Tinjauan Kekuatan Lentur.....	22
<b>Tabel 3. 1</b> Klasifikasi Situs.....	34
<b>Tabel 3. 2</b> Koefisien Situs, Fa.....	36
<b>Tabel 3. 3</b> Koefisien Situs, Fv .....	36
<b>Tabel 3. 4</b> Kategori risiko bangunan gedung dan non-gedung untuk beban gempa.....	38
<b>Tabel 3. 5</b> Faktor Keutamaan Gempa .....	38
<b>Tabel 3. 6</b> Koefisien penyusutan (Ksh) .....	47
<b>Tabel 4. 1</b> Rekapitulasi Dimensi Balok Induk dan Anak ..	55
<b>Tabel 4. 2</b> Rekapitulasi Tebal Pelat .....	62
<b>Tabel 4. 3</b> Beban Mati pada 2-10 Lantai .....	64
<b>Tabel 4. 4</b> Beban Mati pada Lantai 11-12 .....	65
<b>Tabel 4. 5</b> Beban Mati pada Lantai 12a.....	65
<b>Tabel 4. 6</b> Beban Mati pada Lantai Atap.....	66
<b>Tabel 4. 7</b> Rekapitulasi Dimensi Kolom .....	68
<b>Tabel 4. 8</b> Beban Mati Struktur Manual .....	69
<b>Tabel 4. 9</b> Beban Mati Tambahan Struktur Manual .....	72
<b>Tabel 4. 10</b> Beban Hidup Struktur Manual.....	74
<b>Tabel 4. 11</b> Rekap Beban Struktur Total Manual .....	74
<b>Tabel 4. 12</b> Berat Struktur Output Base Reaction ETABS	75
<b>Tabel 4. 13</b> Kategori Risiko Gempa .....	76
<b>Tabel 4. 14</b> Faktor Keutamaan Gempa .....	77

<b>Tabel 4. 15</b>	<b>Data <math>N_{SPT}</math> .....</b>	<b>77</b>
<b>Tabel 4. 16</b>	<b>Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek .....</b>	<b>80</b>
<b>Tabel 4. 17</b>	<b>Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik.....</b>	<b>80</b>
<b>Tabel 4. 18</b>	<b>Penentuan Sistem Penahan Gaya Seismik.....</b>	<b>81</b>
<b>Tabel 4. 19</b>	<b>Perhitungan Spektrum Desain .....</b>	<b>84</b>
<b>Tabel 4. 20</b>	<b>Hasil ETABS Partisipasi Massa .....</b>	<b>86</b>
<b>Tabel 4. 21</b>	<b>Kontrol Kinerja Batas Struktur Akibat Beban Gempa Arah X .....</b>	<b>89</b>
<b>Tabel 4. 22</b>	<b>Kontrol Kinerja Batas Struktur Akibat Beban Gempa Arah Y .....</b>	<b>90</b>
<b>Tabel 4. 23</b>	<b>Beban mati pada pelat lantai apartemen.....</b>	<b>91</b>
<b>Tabel 4. 24</b>	<b>Beban mati pada pelat lantai hall.....</b>	<b>92</b>
<b>Tabel 4. 25</b>	<b>Beban mati pada pelat lantai atap.....</b>	<b>93</b>
<b>Tabel 4. 26</b>	<b>Potongan Pelat .....</b>	<b>96</b>
<b>Tabel 4. 27</b>	<b>Kesimpulan penulangan pelat lantai.....</b>	<b>106</b>
<b>Tabel 4. 28</b>	<b>Rekapitulasi Penulangan Pelat .....</b>	<b>107</b>
<b>Tabel 4. 29</b>	<b>Rekapitulasi Penulangan Tangga .....</b>	<b>116</b>
<b>Tabel 4. 30</b>	<b>Rekapitulasi Penulangan Balok Anak .....</b>	<b>172</b>
<b>Tabel 4. 31</b>	<b>Spesifikasi Passenger Elevator .....</b>	<b>173</b>
<b>Tabel 4. 32</b>	<b>Rekapitulasi Penulangan Balok Induk.....</b>	<b>229</b>
<b>Tabel 4. 33</b>	<b>Rekapitulasi Penulangan Kolom .....</b>	<b>240</b>
<b>Tabel 4. 34</b>	<b>Total Kehilangan Gaya Prategang .....</b>	<b>261</b>
<b>Tabel 4. 35</b>	<b>Rekapitulasi Hasil Studi .....</b>	<b>341</b>

# BAB I

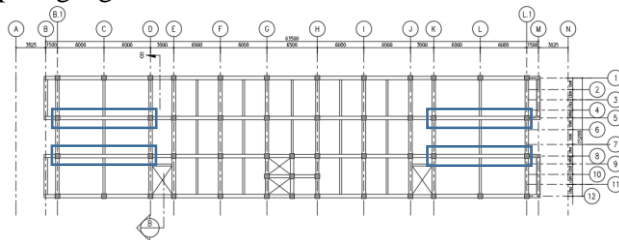
## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Pesatnya perkembangan dalam bidang teknik sipil, memunculkan suatu teknologi konstruksi dengan mengkombinasi antara beton mutu tinggi dengan baja mutu tinggi dengan cara menarik baja dan menahannya pada beton yang disebut dengan beton prategang. Dengan memanfaatkan kombinasi aktif pada beton dan baja dimana kemampuan beton dalam menahan tarikan diperbaiki dengan memberikan tekanan, sementara kemampuannya menahan tekanan tidak dikurangi. Sehingga, beton prategang merupakan kombinasi yang ideal dari dua buah bahan modern yang berkekuatan tinggi (Lin and Burns, 2000).

Gedung Apartemen Enviro merupakan gedung apartemen simetris dimana memiliki 14 lantai termasuk atap. Karena kebutuhan akan ruang yang luas pada gedung Apartemen Enviro dimana digunakan sebagai ruang pertemuan maupun pesta maka pada lantai 12a dibangun *multifunction hall*. Atas dasar kebutuhan ruangan yang luas tanpa kolom sehingga panjang balok sangat jauh maka elemen struktur beton bertulang diganti menggunakan beton prategang.

Atas dasar kebutuhan ruangan yang luas tanpa kolom ditengah ruangan serta panjang bentang balok yang sangat jauh, maka elemen struktur balok beton bertulang diganti menggunakan beton prategang.



**Gambar 1. 1** Denah Lokasi Pemasangan Balok Prategang Pada Lantai Atap

Keuntungan beton prategang dibandingkan beton bertulang yaitu penggunaan prategang efisien karena dimensi penampang struktur akan lebih kecil atau langsing, sebab seluruh luas penampang dipergunakan secara efektif, karena bentuknya lawan lendut akibat gaya prategang setelah beban rencana bekerja, maka lendutan akhir setelah beban rencana bekerja akan lebih kecil dari pada beton bertulang biasa, sehingga cocok untuk bentang yang panjang, selain itu kelebihan geser dan puntirnya bertambah dengan adanya penegangan, pada penampang yang diberi penegangan, tegangan tarik dapat dieliminasi karena besarnya gaya tekan disesuaikan dengan beban yang diterima. (Guna,2012)

Di dalam studi ini, menitikberatkan pada persamaan kekuatan lentur pada balok beton prategang dimana balok berfungsi sebagai elemen struktur yang memegang peran sebagai pemikul beban, terutama beban lentur. Beban lentur tersebut dipengaruhi oleh daerah gempa pada bangunan tersebut dibangun. Sehingga diperlukan analisa antara persyaratan keamanan dari kekuatan lentur terhadap daerah gempa gedung Apartemen Enviro menggunakan balok beton prategang.

Dalam studi ini penulis menggunakan pedoman SNI 03-2847-2002 dan SNI 03-2847-2012 tentang Tata Cara Perhitungan Beton untuk Bangunan Gedung, ACI 318M-14 tentang *Metric Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*, SNI 1727-2013 tentang Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung dan Bangunan Lain, PPIUG 1983 tentang Peraturan Pembebanan Gedung serta peraturan mengenai beton prategang yang memenuhi syarat tahan gempa.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Sesuai uraian latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang muncul adalah :

1. Bagaimana merencanakan struktur gedung Apartemen Enviro Bekasi dengan menggunakan sistem rangka pemikul khusus?

2. Bagaimana merencanakan struktur beton prategang pada gedung Apartemen Enviro Bekasi?
3. Bagaimana perbedaan kuat lentur balok prategang berdasarkan SNI 2847-2002, SNI 2847-2012 dan ACI 318M-14?

### **1.3. Tujuan**

Sesuai uraian rumusan masalah diatas, maka tujuan dari studi ini adalah :

1. Mampu merencanakan struktur gedung Apartemen Enviro Bekasi dengan menggunakan sistem rangka pemikul khusus.
2. Mampu merencanakan struktur beton prategang pada gedung Apartemen Enviro Bekasi.
3. Mengetahui perbedaan kuat lentur balok prategang berdasarkan SNI 2847-2002, SNI 2847-2012 dan ACI 318M-14.

### **1.4. Batasan Masalah**

Agar studi ini terarah, maka dilakukan pembatasan terhadap hal-hal yang diamati selama studi ini. Batasan yang digunakan dalam studi ini sebagai berikut :

1. Studi ini hanya difokuskan pada balok prategang yang digunakan pada *multifunction hall* atau ruang pesta yang berada pada lantai 12a.
2. Analisa struktur dengan menggunakan program bantuan ETABS.
3. Tidak meninjau bangunan bawah.
4. Studi dibatasi hanya analisis model tidak melakukan eksperimen.
5. Tidak meninjau metode biaya dan waktu.

### **1.5. Manfaat**

Studi ini diharapkan dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang terkait, antara lain :

1. Dapat menambah referensi tentang pengetahuan di dalam bidang beton prategang bagi mahasiswa jurusan Teknik Sipil, khususnya di lingkup Institut Teknologi Sepuluh Nopember agar kedepannya dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam dunia pekerjaan khususnya di bidang beton prategang.
2. Mendapat pemahaman tentang konsep beton prategang yang memenuhi persyaratan keamanan struktur.
3. Dapat mengetahui hal-hal yang harus diperhatikan pada saat perencanaan sehingga kegagalan struktur dapat dihindari.
4. Dapat memberikan atau menjadi panduan dalam penerapan sistem perencanaan dan pelaksanaan beton prategang.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Umum**

Dalam tinjauan pustaka ini dibahas jurnal ilmiah dan dasar teori yang berkaitan dengan studi perbandingan persyaratan beton prategang menggunakan SNI 03-2847-2002, SNI 03-2847:2013 dan ACI 318-M14. Di dalam bab ini dibahas mengenai prinsip dasar beton prategang dan perkembangan peraturan beton prategang mengenai kekuatan lentur di SNI 03-2847-2002, SNI 03-2847:2013 dan ACI 318-M14 pada gedung Apartemen Enviro.

#### **2.2. Beton Prategang**

Beton prategang adalah beton yang mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi tegangan yang terjadi akibat beban eksternal sampai batas tertentu (Lin and Burns, 2000). Beton prategang juga dapat disimpulkan sebagai beton yang mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi sampai batas tertentu tegangan yang terjadi akibat beban eksternal. (ACI)

##### **2.2.1. Material Beton Prategang**

Beton prategang merupakan beton yang diberikan tegangan tekan internal sehingga dapat menghilangkan tegangan tarik yang terjadi akibat beban eksternal. Beton prategang itu sendiri memiliki beberapa prinsi dasar, menurut T.Y Lin, 2000 terdapat 3 prinsip beton prategang, yaitu :

1. Beton

Beton adalah material yang terdiri dari campuran smen, air, agregat dan bahan tambahan bila diperlukan. Beton yang digunakan untuk beton prategang pada umumnya tergolong pada beton mutu tinggi dan mempunyai kekuatan tekan yang cukup

tinggi dengan kekuatan karakteristik 30-45 MPa. Kuat tekan yang tinggi diperlukan untuk menahan tegangan tekan pada serat beton yang tertekan oleh gaya prategang, dimana tegangan ijin pada beton yang mengalami prategang dibagi menjadi 2 kategori yaitu tegangan ijin pada saat transfer dan tegangan ijin pada saat service. (Lin and Burns, 2000)

## 2. Baja

Pada struktur beton prategang terdapat 2 jenis baja didalamnya sebagai tulangan aktif dan baja nonprategang sebagai tulangan pasif yang terbuat dari *mild steels* dan *cold-worked steels*. Macam-macam baja prategang yang digunakan terbagi menjadi 4 tipe yaitu :

- a. Kawat tunggal (*wire*) , biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan sistem tarik.
- b. Untaian kawat (*strand*), biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan sistem pascatarik. Tipe untaian kawat yang digunakan pada beton prategang pascatarik harus diberi selongsong (*ducts*).
- c. Kawat batangan (*bar*), biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan sistem pratarik.

Baja prategang yang digunakan memiliki tegangan ijin sebesar  $0,94 f_{py}$  akibat gaya penarikan (*jacking*) dan  $0,7 f_{pu}$  sesaat setelah transfer gaya.

**Tabel 2. 1** Tipikal Baja Prategang  
*sumber : google*

Jenis Baja Prategang	Diameter (mm)	Luas (mm <sup>2</sup> )	Beban Putus (kN)	Tegangan Tarik (MPa)
Kawat Tunggal (Wire)	3	7.1	13.5	1900
	4	12.6	22.1	1750
	5	19.6	31.4	1600
	7	38.5	57.8	1500
	8	50.5	70.4	1400
Untaian Kawat (strand)	9.3	54.7	102	1860
	12.7	100	184	1840
	15.2	143	250	1750
Kawat Batangan (bar)	23	415	450	1080
	26	530	570	1080
	29	660	710	1080
	32	804	870	1080
	38	1140	1230	1080



(a) Kawat tunggal (wire)



(b) Untaian kawat (strand)



(c) Baja batangan (bar)

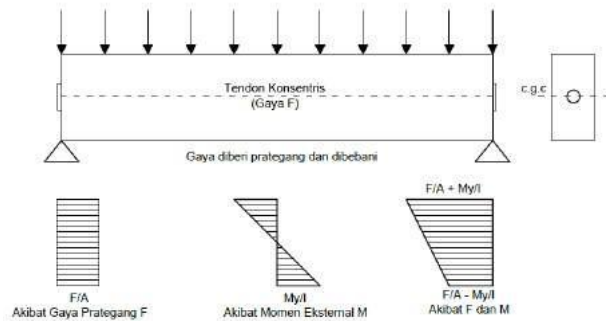
**Gambar 2. 1** Jenis-jenis baja untuk beton Prategang  
*sumber : Rendy,2016*

### 2.2.2. Prinsip Beton Prategang

Beton Prategang terdapat tiga prinsip dasar sebagai berikut:

#### 4.1. Sistem prategang untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastis

Konsep ini memerlukan beton sebagai bahan yang elastis. Beton yang ditransformasikan dari bahan yang getas menjadi bahan yang elastis dengan memberikan tekanan terlebih dahulu pada bahan tersebut. Beton tidak mampu menahan tarikan dan kuat menahan tekanan, namun beton yang elastis dapat memikul tegangan tarik. (Lin and Burns, 2000)



**Gambar 2. 2** Konsep Beton Prategang sebagai Bahan yang Elastis

*Sumber : Lin and Burns, 2000*

Akibat gaya tekan yang diberikan,  $F$  yang bekerja pada pusat berat penampang beton akan memberikan tegangan tekan yang merata diseluruh penampang beton sebesar  $F/A$ , dimana  $A$  adalah luas penampang beton. Akibat beban merata yang memberikan tegangan tarik dibawah garis netral dan tegangan tekan diatas garis netral pada serat terluar penampang, digunakan perumusan sebagai berikut :

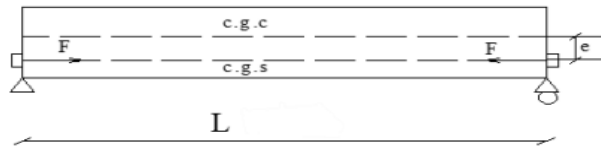
$$f = \frac{M \times C}{I}$$

Dimana :  $M$  = Momen lentur pada penampang yang ditinjau

$C$  = Jarak garis netral ke serat terluar penampang

$I$  = Momen Inersia penampang

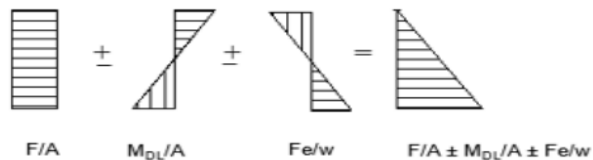
Agar kemampuan beton prategang meningkat, dapat menambahkan eksentrisitas tegangan baja terhadap garis netral beton.



**Gambar 2. 3** Tendon dengan Eksentrisitas

*Sumber : Hendra, 2015*

Akibat adanya pergeseran eksentrisitas baja terhadap garis pusat beton, maka terjadi tegangan sebesar  $F_e/W$  dimana  $e$  adalah eksentrisitas tegangan dan  $W$  adalah momen resisten ( $I/y$ ).

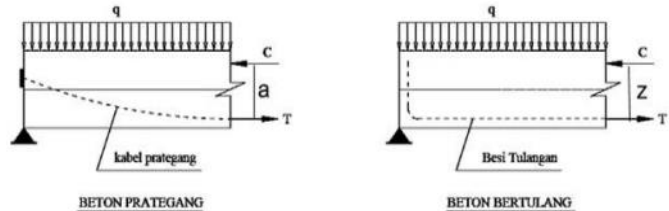


**Gambar 2. 4** Tegangan yang Bekerja pada Beton Prategang

*Sumber : Hendra, 2015*

4.2. Sistem prategang yang mengkombinasikan baja mutu tinggi dengan beton mutu tinggi  
Konsep ini hampir sama dengan konsep beton bertulang, yaitu beton prategang merupakan

kombinasi kerja sama antara baja prategang dan beton, dimana beton menahan beban tekan dan baja prategang menahan beban tarik.



**Gambar 2. 5** Perbandingan Penulangan Prategang dengan Beton Bertulang

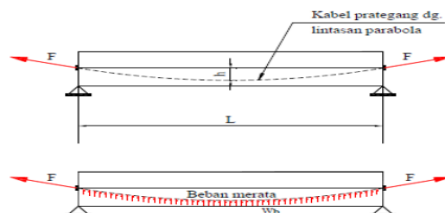
*Sumber : Hendra, 2015*

Pada beton prategang, baja prategang ditarik dengan gaya prategang  $T$  yang mana membentuk momen kopel dengan gaya tekan pada beton  $C$  untuk melawan momen akibat beban luar.

Pada beton bertulang biasa, besi penulangan menahan gaya tarik  $T$  akibat beban luar, yang membentuk momen kopel dengan gaya tekan pada beton  $C$  untuk melawan momen akibat beban luar.

Dengan nilai  $C = T$  dan  $M_{\text{luar}} = M_{\text{dalam}}$  dengan nilai  $M_{\text{dalam}} = C \times Z$  (beton bertulang) dan  $C \times a$  (beton prategang).

#### 4.3. Sistem prategang untuk mencapai keseimbangan beban



**Gambar 2. 6** Beban Merata yang Bekerja pada Beton

*sumber : google*

Pada konsep ini prategang digunakan untuk membuat keseimbangan gaya-gaya pada batang. Pada desain struktur beton prategang, pengaruh dari prategang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri sehingga batang yang mengalami lendutan tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi. (Lin and Burns, 2000)

Balok beton yang terletak diatas dua perletakan yang diberi gaya prategang (P) dengan lintasan parabola. Beban akibat gaya prategang yang terdistribusi secara merata kearah atas dinyatakan sebagai berikut :

$$Wb = \frac{8 \times F \times h}{L^2}$$

Dimana : Wb = Beban merata kearah atas  
h = Tinggi parabola kabel lintasan prategang

L = Bentangan balok

F = Gaya prategang

Jadi, beban merata akibat beban diimbangi oleh gaya merata akibat prategang.

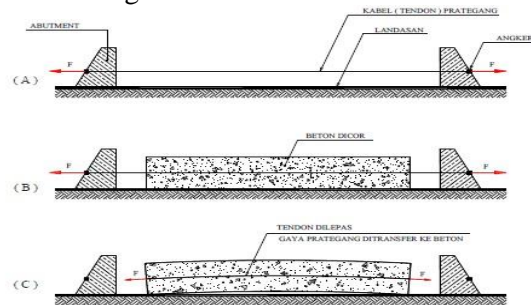
### 2.2.3. Sistem Beton Prategang

Pada dasarnya beton prategang diklasifikasikan menjadi dua jenis (Nawy, 2000) yaitu:

#### 1. *Pre-tensioned Prestressed Concrete* (Pratarik)

Pratarik adalah metode prategang dimana tendon ditegangkan sebelum beton di cor. Setelah beton cukup keras tendon dipotong dan gaya prategang akan tersalur ke beton melalui lekatan. untuk metode pratarik ini terdapat kekurangan pada peletakan posisi tendon, tendon hanya biasa dipasang dengan bentuk horizontal saja.

Metode pengerjaan *Pre-tensioned Prestressed Concrete* sebagai berikut :



**Gambar 2. 7** Proses Pratarik

Sumber : Lin & Burns, 2000

Tahap 1: Tendon (kabel) prategang ditarik atau diberi gaya prategang kemudian diangker pada suatu abutment tetap (gambar A).

Tahap 2: Beton dicor pada cetakan (formwork) dan landasan sehingga mencangkup tendon yang sudah diberi gaya prategang dan diarkan mengering (gambar B).

Tahap 3: Setelah beton mengering dan umur yang cukup sehingga kuat untuk menerima gaya prategang, tendon dipotong dan dilepas, sehingga gaya prategang ditransfer ke beton (gambar C).

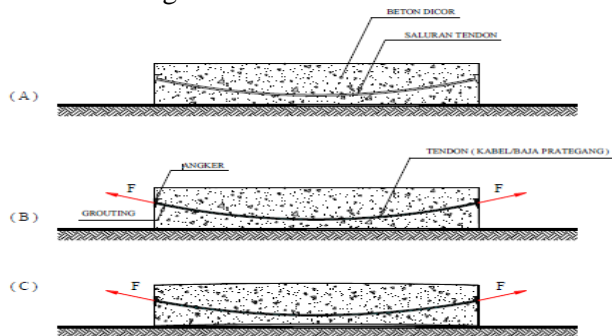
Setelah gaya prategang ditransfer ke beton, balok beton akan melengkung ke atas sebelum menerima beban kerja. Setelah beban kerja bekerja, maka balok beton tsb akan rata.

2. *Post-Tensioned Prestressed Concrete* (Pascatarik)  
 Pascatarik adalah metode prategang dimana tendon ditarik setelah beton di cor. Sebelum pengecoran, dipasang dahulu selongsong untuk alur tendon.



Setelah beton mengeras tendon dimasukkan ke dalam selubung tendon yang sudah dipasang. Penarikan dilakukan setelah beton mencapai kekuatan yang diinginkan. Setelah penarikan dilakukan proses *grooting*.

Metode pengerjaan *Post-Tensioned Prestressed Concrete* sebagai berikut :



**Gambar 2. 8** Proses Pascatarik  
*Sumber : Lin & Burns, 2000*

Tahap 1 : Dengan cetakan (formwork) yang telah disediakan lengkap dengan saluran /selongsong kabel prategang (tendon duct) yang dipasang melengkung sesuai bidang momen balok, beton dicor (Gambar A).

Tahap 2 : Setelah beton cukup umur dan kuat memikul gaya prategang, tendon atau kabel prategang dimasukkan dalam selongsong (tendon duct), kemudian ditarik untuk 16 mendapatkan gaya prategang. Methode pemberian gaya prategang ini, salah satu ujung kabel prategang ini, salah satu ujung kabel diangker, kemudian ujung lainnya

ditarik (ditarik dari satu sisi). Ada pula yang ditarik dikedua sisinya dan diangker secara bersamaan. Setelah diangkur, kemudian saluran di grouting melalui lubang yang telah disediakan (Gambar B).

Tahap 3 : Setelah diangkur, balok beton menjadi tertekan, gaya prategang telah ditransfer ke beton. Karena tendon dipasang melengkung, maka akibat gaya prategang tendon memberikan beban merata ke balok yang arahnya keatas, sehingga balok melengkung keatas (Gambar C) Karena alasan transportasi dari pabrik beton ke tempat proyek, maka biasanya beton ke tempat proyek, maka biasanya beton prategang dengan sistem post-tensioning ini, dilaksanakan secara segmental (balok dibagi-bagi, misalnya dengan panjang 1-1,5 m), kemudian pembagian gaya prategang dilaksanakan di tempat proyek, setelah balok segmental tersebut dirangkai.

#### **2.2.4. Tahapan Pembebanan**

Pada beton prategang terdapat dua tahapan pembebanan. Pada setiap tahapan harus dilakukan pengecekan kondisi beton baik pada bagian yang tertekan maupun yang tertarik untuk setiap penampang. Tahapan yang terdapat dalam beton prategang diantaranya :

##### **1. Tahap Transfer**

Untuk metode pratarik, tahap transfer terjadi saat anker dilepas dan gaya prategang di transfer ke beton. Untuk metode pascatarik, tahap transfer terjadi saat beton telah cukup umur dan dilakukan penarikan kabel

prategang. Pada saat ini beban yang bekerja hanya berat sendiri struktur, beban pekerja dan peralatan, sedangkan beban hidup belum bekerja sepenuhnya, sehingga beban yang bekerja sangat minimum, sementara gaya prategang yang bekerja adalah maksimum karena belum terjadi kehilangan gaya prategang.

## 2. Tahap Service

Tahap ini terjadi setelah beton prategang digunakan atau berfungsi sebagai komponen struktur. Pada saat ini semua beban luar sudah bekerja seperti beban hidup, beban angin, beban gempa dan lain-lain, sehingga pada saat ini semua kehilangan prategang sudah harus dipertimbangkan dalam analisa struktur.

### 2.2.5. Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan gaya prategang dapat menurunkan gaya prategang menjadi nilai yang lebih rendah, sehingga beban yang dipikul balok prategang menjadi lebih rendah pula, biasanya terjadi saat tahap-tahap pembebanan. Selisih antara gaya prategang akhir dengan gaya prategang awal dinamakan kehilangan prategang. Kehilangan prategang dibagi menjadi 2 kategori (Nawy, 2000) yaitu :

#### 1. Kehilangan prategang secara langsung

Kehilangan langsung adalah kehilangan yang terjadi segera setelah beton diberi gaya prategang. Kehilangan gaya prategang langsung disebabkan oleh:

##### a. Perpendekan elastis beton

Pada saat gaya prategang dialihkan ke beton, komponen struktur akan memendek dan baja prategang turut memendek bersamanya. Jadi ada kehilangan gaya prategang pada baja. (Lin and Burns, 2000)

- b. Kehilangan akibat friksi atau geseran sepanjang tendon  
 Kehilangan akibat friksi terjadi pada beton prategang dengan sistem post-tension. Pada struktur beton prategang dengan tendon yang dipasang melengkung ada gesekan antara sistem penarik (*jacking*) dan ankur, sehingga tegangan yang ada pada tendon akan lebih kecil dari pada tegangan yang diberikan. Kehilangan akibat gesekan dipengaruhi oleh pergerakan dari selongsong (*wobble*) dan kelengkungan tendon.
  - c. Kehilangan akibat slip ankur  
 Kehilangan akibat slip terjadi pada saat kabel prategang dilepas dari mesin penarik, kemudian kabel ditahan oleh baji dipengangkuran dan gaya prategang ditransfer dari mesin penarik ke ankur. Pada umumnya slip yang terjadi dipengangkuran berkisar 2.5 mm. (Lin and Burns, 2000)
2. Kehilangan jangka panjang
- Kehilangan jangka panjang adalah kehilangan gaya prategang yang dipengaruhi oleh faktor waktu. Kehilangan prategang jangka panjang disebabkan oleh:
- a. kehilangan gaya prategang akibat rangkak  
 Kehilangan gaya prategang yang diakibatkan oleh rangkak dari beton merupakan salah satu kehilangan gaya prategang tergantung pada waktu yang diakibatkan oleh proses penguatan dari beton selama pemakaian. Rangkak pada beton prategang dapat terjadi pada 2 kondisi yaitu kondisi *bonded tendon* dan *unbonded tendon*. (Lin and Burns, 2000)
  - b. kehilangan gaya prategang akibat susut  
 Penyusutan beton dipengaruhi oleh rasio antara volume beton dan luas permukaan beton, dan juga

kelembapan relative waktu antara pengecoran dan pemberian gaya prategang. (Lin and Burns,2000)

- c. Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja prategang

Relaksasi baja prategang terjadi pada baja dengan perpanjangan tetap dalam suatu periode yang mengalami kekurangan gaya prategang. (Lin and Burns,2000)

### **2.3. Sistem Rangka PemIdentifikasi Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus**

Dalam merencanakan suatu bangunan gedung maupun non gedung yang perlu didesain dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) agar mampu menahan gaya gempa kapasitas sedang, Maka bangunan tersebut harus tergolong Kategori Desain Seismik (KDS) tipe D.

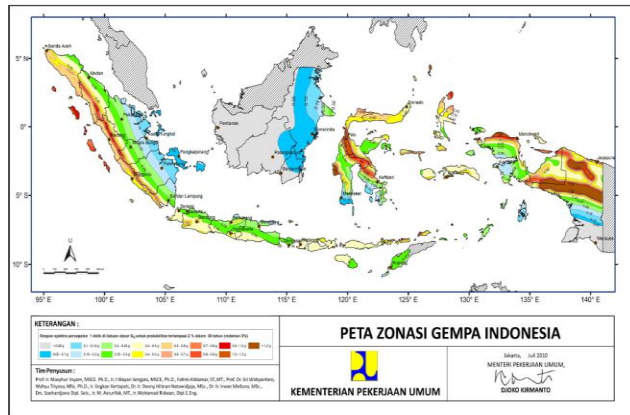
Dimana langkah-langkah identifikasi dilakukan sebagai berikut :

#### **1. Menentukan Klasifikasi Situs**

Dalam menentukan klasifikasi situs diperlukan tanah hasil *Standart Penetration Test (SPT)*. Kemudian diolah hingga mendapatkan nilai  $\bar{N}$  atau  $\overline{N_{ch}}$ . Dari nilai tersebut tipe kelas situs dapat ditentukan beberapa jenis yaitu SA (batuan keras), SB (batuan), SC (tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak), SD (tanah sedang), SE (tanah lunak), SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs).

#### **2. Menentukan Kategori resiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa**





**Gambar 2. 10** Peta respon spektra percepatan 1,0 detik ( $S_1$ ) di batuan dasar ( $S_b$ ) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun  
*sumber : SNI 1726:2012*

4. Menentukan nilai koefisien-koefisien situ dan parameter-parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget ( $MCE_R$ ).

Untuk penentuan respons spektra percepatan gempa  $MCE_R$  di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik untuk mencari nilai  $S_{MS}$  dan  $S_{M1}$ .

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \dots \text{SNI gempa 1726-2012 pasal 6.2(5)}$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \dots \text{SNI gempa 1726-2012 pasal 6.2(6)}$$

Sementara nilai  $F_a$  dan  $F_v$  bisa didapat dengan menggunakan tabel 4 dan tabel 5 dalam SNI gempa 1726-2012 pasal 6.2.

5. Menentukan parameter spektral desain

Parameter Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek  $S_{DS}$  dan pada perioda 1 detik  $S_{D1}$  harus ditentukan melalui perumusan persamaan sebagai berikut.

$$S_{DS} = 2/3 \cdot S_{MS} \dots \text{SNI gempa 1726-2012 pasal 6.3(7)}$$

$$S_{D1} = 2/3 \cdot S_{M1} \dots \text{SNI gempa 1726-2012 pasal 6.3(8)}$$

#### 6. Pengelompokkan Kategori Desain Seismik (KDS)

Syarat-syarat dalam menentukan KDS sebagai berikut:

- Struktur dengan kategori resiko I, II, atau III dengan  $(S_1) \geq 0,75$  harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E
- Struktur dengan kategori resiko IV dengan  $(S_1) \geq 0,75$  harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F
- Struktur lain harus ditentukan dengan tabel berikut:

**Tabel 2. 2** Nilai  $S_{DS}$   
sumber : SNI 1726:2012, Tabel 6

Nilai $S_{DS}$	Kategori resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,5$	C	D
$0,5 \leq S_{DS}$	D	D

**Tabel 2. 3** Nilai  $S_{D1}$   
Sumber : SNI 1726:2012, Tabel 7

Nilai $S_{D1}$	Kategori resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,2$	C	D
$0,2 \leq S_{D1}$	D	D

Dari kedua tabel di atas maka dipilih KDS dengan resiko yang lebih parah terlepas dari nilai perioda fundamental getaran struktur T.



#### **2.4. Perbandingan Peraturan SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013 dan ACI 318M-14**

Di Indonesia memiliki standar peraturan untuk mengatur perencanaan struktur beton prategang atau lebih dikenal dengan Standar Nasional Indonesia (SNI). Adapun persamaan rumus pada SNI sendiri diambil dari standar peraturan dunia yaitu ACI (American Concrete Institute). Pembaharuan SNI dilakukan secara berkala dimana persamaan rumus baru ditemukan dan disesuaikan dengan kondisi daerah guna untuk perencanaan struktur yang kuat menahan gaya gempa dengan berbagai metode.

Terdapat perbedaan persamaan rumus dengan tinjauan kekuatan lentur yang digunakan antara SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013 dan ACI 318M-14 maka dari itu dalam studi ini akan dibahas perbandingan persyaratan struktur beton prategang dengan tinjauan kekuatan lentur yang ditampilkan pada tabel 2.10.

**Tabel 2. 4** Perbandingan SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013 dan ACI 318M-14 dengan Tinjauan Kekuatan Lentur

No.	Parameter	SNI 03-2847-2002	SNI 2847:2013	ACI 318M-14	Keterangan
1.	Tulangan minimum	<b>Pasal 23.3.2.1</b>	<b>Pasal 21.5.2.1</b>	<b>Ch. 9.6.1.2</b>	tidak terdapat perbedaan
		$A_{s,min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w \cdot d$ tidak kecil dari $1,4b_w \cdot d / f_y$	$A_{s,min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w \cdot d$ tidak kecil dari $1,4b_w \cdot d / f_y$	$A_{s,min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w \cdot d$ tidak kecil dari $1,4b_w \cdot d / f_y$	
2.	$\rho_{max}$	<b>Pasal 23.3.2.1</b>	<b>Pasal 21.5.2.1</b>	<b>Ch. 18.6.3.1</b>	tidak terdapat perbedaan
		0,025	0,025	0,025	
3.	Minimum Jumlah Tulangan	<b>Pasal 23.3.2.1</b>	<b>Pasal 21.5.2.1</b>	<b>Ch. 18.6.3.1</b>	tidak terdapat perbedaan
		2 batang tulangan pada kedua sisi atas dan bawah	2 batang tulangan pada kedua sisi atas dan bawah	2 batang tulangan pada kedua sisi atas dan bawah	
4.	SRPMK	<b>Pasal 23.3.2.2</b>	<b>Pasal 21.5.2.2</b>	<b>Ch. 18.6.3.2</b>	tidak terdapat perbedaan
		Tumpuan = $M(+)\geq \frac{1}{2} M(-)$ Lapangan = $M(+/-)\geq \frac{1}{4} M_{maks}$	Tumpuan = $M(+)\geq \frac{1}{2} M(-)$ Lapangan = $M(+/-)\geq \frac{1}{4} M_{maks}$	Tumpuan = $M(+)\geq \frac{1}{2} M(-)$ Lapangan = $M(+/-)\geq \frac{1}{4} M_{maks}$	

5	Kekuatan Desain	<b>Pasal 11.3.2.1</b>	<b>Pasal 9.3.2.1</b>	<b>Ch. 21.2.1</b>	terdapat perbedaan
		0,80	0,90	0,9	
6	Selimut Beton Prategang	<b>Pasal 9.7.3.1 c)</b>	<b>Pasal 7.7.2 c)</b>	<b>Ch. 20.6.1.3</b>	tidak terdapat perbedaan
		40 mm	40 mm	40 mm	
7	$\beta_1$	<b>Pasal 12.2.7.3</b>	<b>Pasal 10.2.7.3</b>	<b>Ch. 22.2.2.4.3</b>	terdapat perbedaan
		$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(f'_c - 30)}{7}$	$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(f'_c - 28)}{7}$	$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(f'_c - 28)}{7}$	
8	fps (unbonded)	<b>Pasal 20.7.2</b>	<b>Pasal 18.7.2. a)</b>	<b>Ch. 20.3.2.4</b>	terdapat perbedaan
		<p>Untuk <math>ln/h \leq 35</math>  <math>f_{ps} = f_{se} + 70 + \frac{f'_c}{100 \cdot \rho_p}</math>  Tetapi <math>f_{ps}</math> tidak boleh diambil lebih besar dari yang lebih kecil dari <math>f_{py}</math> dan <math>f_{se} + 400</math>.</p> <p>Untuk <math>ln/h &gt; 35</math>  <math>f_{ps} = f_{se} + 70 + \frac{f'_c}{300 \cdot \rho_p}</math></p>	<p>Untuk <math>ln/h \leq 35</math>  <math>f_{ps} = f_{se} + 70 + \frac{f'_c}{100 \cdot \rho_p}</math>  Tetapi <math>f_{ps}</math> tidak boleh diambil lebih besar dari yang lebih kecil dari <math>f_{py}</math> dan <math>f_{se} + 420</math>.</p> <p>Untuk <math>ln/h &gt; 35</math>  <math>f_{ps} = f_{se} + 70 + \frac{f'_c}{300 \cdot \rho_p}</math></p>	<p>Untuk <math>ln/h \leq 35</math>  <math>f_{ps} = f_{se} + 70 + \frac{f'_c}{100 \cdot \rho_p}</math>  Tetapi <math>f_{ps}</math> tidak boleh diambil lebih besar dari yang lebih kecil dari <math>f_{py}</math> dan <math>f_{se} + 420</math>.</p> <p>Untuk <math>ln/h &gt; 35</math>  <math>f_{ps} = f_{se} + 70 + \frac{f'_c}{300 \cdot \rho_p}</math></p>	

		Tetapi $f_{ps}$ tidak boleh diambil lebih besar dari yang lebih kecil dari $f_{py}$ dan $f_{se}+200$ .	Tetapi $f_{ps}$ tidak boleh diambil lebih besar dari yang lebih kecil dari $f_{py}$ dan $f_{se}+210$ .	Tetapi $f_{ps}$ tidak boleh diambil lebih besar dari yang lebih kecil dari $f_{py}$ dan $f_{se}+210$ .	
9	Syarat Balok Prategang (unbonded)	-	<b>Pasal 21.5.2.5 b)</b>	<b>Ch. 18.6.3.5</b>	terdapat perbedaan
		-	Baja prategang tidak boleh menyumbang lebih dari seperempat kekuatan lentur positif atau negative di penampang kritis pada daerah sendi plastis dan harus diangkur atau melewati muka eksterior joint.	Baja prategang tidak boleh menyumbang lebih dari seperempat kekuatan lentur positif atau negative di penampang kritis pada daerah sendi plastis dan harus diangkur atau melewati muka eksterior joint.	

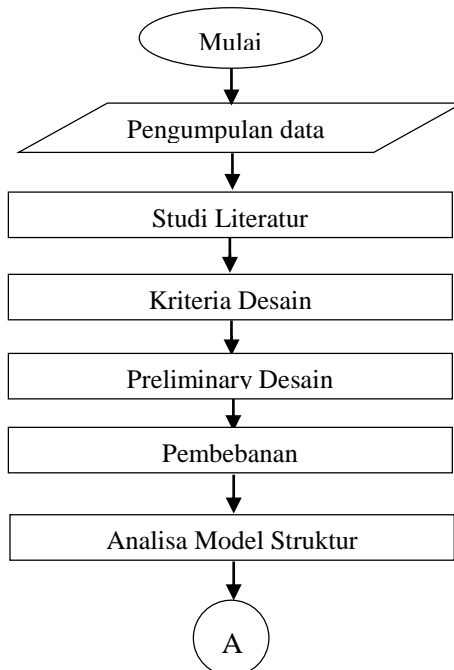
## **BAB III**

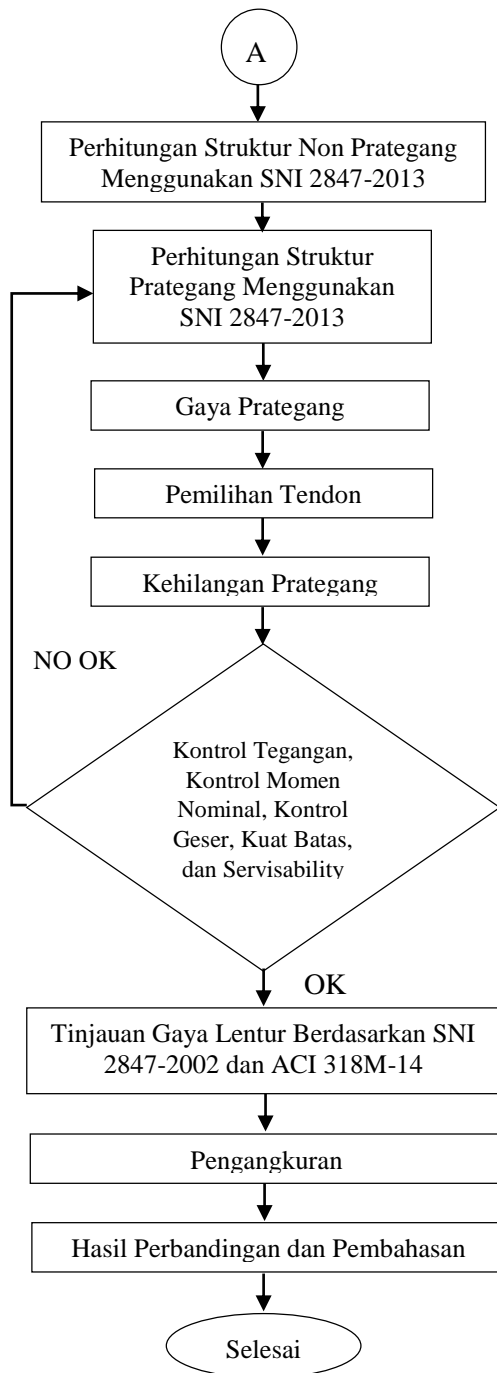
### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Umum**

Sebelum melakukan studi perbandingan kekuatan lentur balok beton prategang dengan berbagai peraturan pada proyek gedung Apartemen Enviro, perlu disusun langkah-langkah pengerjaan sesuai dengan uraian kegiatan yang dilakukan. Urutan pelaksanaannya dimulai dari pengumpulan literatur dan pedoman perancangan, sampai mencapai tujuan akhir dari analisa struktur yang akan disajikan.

#### **3.2. Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir**





### 3.3. Pengumpulan Data

Perencanaan permodelan yang akan digunakan dalam Studi yaitu :

Gedung	: Apartemen Enviro
Fungsi Bangunan	: Gedung Apartemen
Lokasi	: Jl. Dokter Moewardi, Kawasan Industri Jababeka
Tinggi Total Bangunan	: $\pm 47.5$ m
Jumlah Lantai	: 14 Lantai
Variabel desain	: Beton Prategang
Lokasi Beton Prategang	: Lantai 14 (Denah terlampir)
Luas Lahan	: $\pm 4200$ m <sup>2</sup>
Mutu Beton (f'c)	
Kolom	: 35 MPa
Plat dan Balok	: 25 MPa
Mutu Baja (fy)	
Ulir (D)	: BJTD 40 ; fy = 400 MPa
Polos	: BJTD 28 ; fy = 280 MPa
Mutu Beton Prategang	: 40 MPa
Mutu Baja Prategang	: Brosur Terlampir
Jenis Tanah	: Tanah Sedang (SD)
Data Gambar	: Terlampir
Data Tanah	: Terlampir

### 3.4. Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan dengan menggunakan beberapa buku pustaka dan tinjauan pustaka yang terlampir pada bab II mengenai perancangan beton prategang dan struktur gedung secara umum yang akan sangat membantu dalam pengerjaan perencanaan gedung

- Desain Struktur Beton Prategang Edisi Ketiga Jilid 1 (Lin & Burns, 2000)
- Beton Prategang Jilid 1 (Edward G. Nawy)
- Disain Kapasitas Struktur Daktail Tahan Gempa Kuat (Rachmat Purwono & Pujo Aji)

Selain mengkaji studi literatur yang ada, Dalam perencanaan, digunakan juga beberapa peraturan perencanaan. Dalam perencanaan gedung Apartemen Enviro Bekasi ini digunakan peraturan perencanaan yang terbaru, antara lain:

- a. SNI – 2847 – 2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung.
- b. SNI 2847:2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
- c. ACI 318M-14 Building Code Requirements for Structural Concrete
- d. SNI 1726: 2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
- e. SNI 1727: 2013 Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain.
- f. Perancangan Pembebanan Indonesia Untuk Rumah dan Gedung 1983. (PPIUG 1983)
- g. Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (PBI 1971)

### 3.5. Kriteria Permodelan

Perencanaan permodelan yang akan digunakan dalam studi yaitu :

Gedung	: Apartemen Enviro
Fungsi Bangunan	: Gedung Apartemen
Lokasi	: Jl. Dokter Moewardi, Kawasan Industri Jababeka
Bentuk Bangunan	: I (Denah Terlampir)
Ketinggian	: $\pm 47.5$ m
Jumlah Lantai	: Lantai 14 (Denah Terlampir)
Variabel Desain	: Beton Prategang
Lokasi Beton Prategang	: Lantai 14 (Denah Terlampir)
Mutu Beton Prategang	: 40 MPa
Mutu Baja Prategang	: Brosur Terlampir
Jenis Tanah	: Tanah Sedang (SD)



### 3.6. Preliminary Desain

Preliminary desain dilakukan dengan memperkirakan dimensi awal struktur sesuai dengan peraturan SNI 2847:2013. Beberapa komponen struktur tersebut antara lain :

#### 3.6.1. Perencanaan Dimensi Balok

Berdasarkan SNI 2847 : 2013 Pasal 9.5.2.1 dalam menentukan dimensi awal balok dapat dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah berikut :

1. Menentukan data desain yang meliputi :
  - Panjang Balok
  - Data properties material
2. Rencanakan lebar balok ( $b$ ) adalah  $2/3 h$ .
3. Bila  $f_y$  sama dengan 400 Mpa gunakan pers. (a) atau pers. (b). Bila  $f_y$  selain 420 Mpa gunakan pers. (c) atau pers. (d).

a. Balok Induk

$$h_{min} = L/16 \quad (a)$$

$$h_{min} = \frac{1}{16} \left( 0,4 + \left( \frac{f_y}{700} \right) \right) \quad (b)$$

b. Balok Anak

$$h_{min} = L/21 \quad (c)$$

$$h_{min} = \frac{1}{21} \left( 0,4 + \left( \frac{f_y}{700} \right) \right) \quad (d)$$

Keterangan :

$h_{min}$  = Tinggi minimum balok ( $mm$ ).

$L$  = Panjang balok ( $mm$ ).

$f_y$  = Tegangan leleh baja ( $MPa$ ).

SNI 03-2847-2013 pasal 21.5.1.3 mengatur tentang lebar balok ( $b_w$ ) tidak boleh kurang dari nilai terkecil dari  $0,3 h_{min}$  dan 250 mm.

### 3.6.2. Perencanaan Dimensi Balok Prategang

Penampang awal balok beton prategang di desain menggunakan beberapa asumsi yang sesuai dengan ketentuan tinggi dimensi balok

$$h_{min} = \frac{L}{20}$$

Selain itu, balok prategang harus didesain berdasarkan ketentuan ketentuan yang ada pada SNI 2847:2013 pasal 18.

### 3.6.3. Perencanaan Dimensi Kolom

Dalam menentukan dimensi awal kolom dapat dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah berikut:

- a. Kolom yang akan dianalisis dipilih berdasarkan yang memikul beban terbesar lalu menentukan data desain yang meliputi :
  - Tebal plat yang menumpu kolom yang akan dianalisis.
  - Dimensi balok yang menumpu kolom yang akan dianalisis.
  - Mutu Beton yang digunakan ( $f'c$ ).
- b. Mendefinisikan beban-beban yang akan menumpu pada kolom sesuai dengan SNI 1727 : 2013.
- c. Menghitung  $A_{perlu}$  dengan menggunakan pers. 3.8.

$$A = \frac{P}{\phi \times f'c}$$

Keterangan :

$A$  = Luas kolom yang dibutuhkan ( $mm^2$ )

$P$  = Total beban yang menumpu kolom

$\phi$  = Faktor reduksi = 0,3

Cek dimensi kolom dengan  $h = b$  lebih besar dari 300 mm serta rasio  $b$  dan  $h$  lebih besar dari 0,4

### 3.6.4. Perencanaan Dimensi Pelat

Penentuan pelat 1 arah atau 2 arah

$$\beta = \frac{Ln}{Sn} < 2 \text{ (Plat 2 arah)}$$

Menentukan lebar efektif flens (pasal 13.2.4 SNI 2847-2013)

$$\rightarrow be = bw + 2hw < bw + 8hf$$

$$\blacksquare be = bw + 2hw$$

$$\blacksquare be = bw + 8hf$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[ 4 - 6\left(\frac{t}{h}\right) + 4\left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)}$$

Momen Inersia Penampang

$$I_b = k \frac{b_w h^3}{12}$$

Momen Inersia Lajur Pelat

$$I_p = 0,5 \frac{b_p t^3}{12}$$

Rasio Kekakuan Balok Terhadap Plat

$$\alpha_l = \frac{I_b}{I_p}$$

Berdasarkan SNI 2847 : 2013 Pasal 9.5.3.2 Menghitung  $\alpha_m$  yang didapatkan dari

$$\alpha_m = \frac{\sum \alpha_n}{n}$$

$$\alpha = \frac{E_{cb} \times I_b}{E_{cp} \times I_p}$$

Bila  $\alpha m \leq 0.2$ , maka tebal plat adalah 125 mm, namun bila  $0.2 \leq \alpha m \leq 2$ . Tebal plat ditentukan dengan

$$h = \frac{\ln \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta (\alpha_m - 0,2)} \leq 125 \text{ mm}$$

Bila  $\alpha_m \geq 0.2$ , maka tebal plat ditentukan dengan

$$h = \frac{\ln \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \leq 90 \text{ mm}$$

Keterangan :

$\alpha m$  = Nilai rata-rata  $\alpha$  yang menjepit plat tersebut.

$\alpha$  = Rasio kekakuan balok terhadap plat yang ditentukan dengan pers. 3.10

$E_{cb}$  =  $E_{cp}$  = Elastisitas beton.

$I_p$  = Momen Inersia plat ( $\text{mm}^4$ )

$I_b$  = Momen Inersia balok ( $\text{mm}^4$ )

$l_n$  = Bentang bersih arah memanjang panel pelat ( $\text{mm}$ ).

$h$  = Tebal plat ( $\text{mm}$ ).

$\beta$  = Rasio bentang bersih arah memanjang terhadap arah memendek plat.

$f_y$  = Tegangan leleh baja ( $\text{MPa}$ ).

### 3.7. Pembebanan

Penggunaan beban yang ada mengikuti peraturan yang ada di PPIUG 1983 dan kombinasi pembebanan menggunakan SNI 2847:2013 pasal 9.2, antara lain :

#### 3.7.1. Beban Mati

Perhitungan beban mati sesuai dengan SNI 1727:2013 pasal 3.1.2 dimana perhitungan beban mati untuk bangunan gedung menggunakan berat bahan dan konstruksi yang

sebenarnya, dengan ketentuan bahwa jika tidak ada informasi yang jelas, nilai yang harus digunakan adalah nilai yang disetujui oleh pihak yang berwenang.

### 3.7.2. Beban Hidup

Beban hidup merupakan semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan kedalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut.

Terdiri dari :

#### a. Beban hidup pada atap bangunan

- Beban hidup pada atap bangunan yang dapat dicapai dan dibebani manusia (pekerja) harus diambil minimum  $96 \text{ kg/m}^2$ .
- Beban merata air hujan digitung dengan menggunakan rumus berikut

$$R = 0,0098(d_s + d_h) \dots \text{SNI 1727:2013 Pasal 8.3}$$

Dimana :

$d_s$  = kedalaman air jika drainase primer tertutup

$$= 20 \text{ mm}$$

$d_h$  = tambahan kedalaman kedalaman air

$$= 10 \text{ mm}$$

#### b. Beban hidup pada lantai Bangunan

- Ruang pribadi sebesar  $192 \text{ kg/m}^2$ .
- Ruang publik sebesar  $479 \text{ kg/m}^2$ .

#### c. Beban hidup pada tangga

Beban hidup pada tangga ditetapkan sebesar  $479 \text{ kg/m}^2$

### 3.7.3. Beban Gempa

Beban gempa yang digunakan sesuai SNI 1726:2012, dimana wilayah gempa terbagi sesuai percepatan respon spektrumnya. Beban geser dasar nominal statik ekivalen  $V$  yang terjadi dari tingkat dasar dihitung sesuai SNI 1726:2012 Pasal 7.8. Beban geser  $V$  ini harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung ke masing-masing lantai ( $F$ ) sesuai SNI 1726:2012 Pasal 7.8.3. Menurut SNI 2847:2013, beban gempa yang dialami oleh struktur sebagian dipikul oleh komponen baja prategang hanya diperbolehkan maksimal 25% dari beban gempa yang terjadi.

Ada beberapa tinjauan mengenai perhitungan gempa yang perlu diperhatikan untuk mengetahui kriteria untuk mengetahui kriteria desian yang paling cocok untuk perhitungan struktur yang tahan gempa. Menurut SNI 1726:2012, gempa rencana dalam perancangan gedung ini ditetapkan sebagai gempa yang kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun sebesar 2%.

Adapun penentuan beban gempa sebagai berikut :

1. Untuk perhitungan beban gempa digunakan data tanah SPT kemudian dilakukan perhitungan nilai SPT rata-rata ( $\bar{N}_{SPT}$ )
2. Dari nilai  $\bar{N}_{SPT}$  dapat ditentukan Kelas Situs Tanah dengan tabel berikut :

**Tabel 3. 1** Klasifikasi Situs  
sumber : SNI 1276:2012 Tabel 3

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat keras dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	$\geq 100$
SD (Tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100

SE (Tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Indeks plastisitas, <math>PI &gt; 20</math>,</li> <li>2. Kadar air, <math>w \geq 40\%</math>,</li> <li>3. Kuat geser niralir <math>\dot{s}_u &lt; 25 \text{ kPa}</math></li> </ol>		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifikasi dan analisis respon spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitive, tanah tersementasi lemah.</li> <li>- Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan <math>H &gt; 3 \text{ m}</math>)</li> <li>- Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan <math>H &gt; 7.5 \text{ m}</math> dengan Indeks Plastisitas <math>PI &gt; 75</math>)</li> <li>- Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan <math>H &gt; 35 \text{ m}</math> dengan <math>\dot{s}_u &lt; 50 \text{ kPa}</math></li> </ul>		

Catatan : N/A = tidak dapat dipakai

3. Setelah mengetahui Kelas Situs Tanah, kemudian mencari nilai  $S_s$  dan  $S_1$  berdasarkan SNI 1726:2012
4. Menentukan Koefisien Situs Periode 0,2 detik ( $F_a$ ) dan Koefisien Situs Periode 1 detik ( $F_v$ ) berdasarkan tabel berikut :

**Tabel 3. 2** Koefisien Situs,  $F_a$   
*sumber : SNI 1276:2012 Tabel 4*

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada perioda pendek, $T = 0,2$ detik, $S_s$				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,0	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	$SS^b$				

**Tabel 3. 3** Koefisien Situs,  $F_v$   
*sumber : SNI 1276:2012 Tabel 5*

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada perioda pendek, $T = 1$ detik, $S_1$				
	$S_s \leq 0,1$	$S_s = 0,2$	$S_s = 0,3$	$S_s = 0,4$	$S_s \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	$SS^b$				

5. Menentukan parameter spectrum respons percepatan pada perioda 0,2 detik ( $S_{MS}$ )

$$S_{MS} = F_a \times S_s$$

(sumber : SNI 1726:2012 Pasal 6.2 pers. 5)

6. Menentukan parameter spectrum respons percepatan pada perioda 0,2 detik ( $S_{M1}$ )

$$S_{M1} = F_v \times S_1$$

(sumber : SNI 1726:2012 Pasal 6.2 pers. 6)



7. Parameter percepatan spectral desain untuk perioda 0,2 detik.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS}$$

(sumber : SNI 1726:2012 Pasal 6.2 pers. 7)

8. Parameter percepatan spectral desain untuk perioda 1detik.

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1}$$

(sumber : SNI 1726:2012 Pasal 6.2 pers. 8)

9. Menentukan besar periode (T) pada suatu bangunan.

$$T = C_t \times h_n^x$$

hn = Tinggi bangunan (m)

Ct = 0,0466

x = 0,9

(sumber : SNI 1726:2012 Tabel 15)

10. Membuat Respon Spektrum Gempa

- Untuk perioda lebih kecil  $T_0$ , spectrum respons percepatan desain :

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right)$$

(sumber : SNI 1726:2012 Pasal 6.4 pers.9)

- Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil atau sama dengan  $T_s$ , spectrum respons percepatan desain :

$$S_a = S_{DS}$$

- Untuk perioda lebih besar  $T_s$ , spectrum respons percepatan desain :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

(Sumber : SNI 1726:2012 Pasal 6.4 pers.10)

11. Faktor Keutamaan Gempa

Faktor keutamaan gempa ditentukan dari jenis pemanfaatan gedung sesuai dengan kategori resiko pada peraturan SNI 1276:2012 Tabel 1 dan 2.

**Tabel 3. 4** Kategori risiko bangunan gedung dan non-gedung untuk beban gempa

sumber : SNI 1276:2012, Tabel 1

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah took dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/mall</li> <li>- Bangunan industry</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul>	II

**Tabel 3. 5** Faktor Keutamaan Gempa

sumber : SNI 1276:2012, Tabel 2

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, $I_e$
I atau II	1,0

12.Menentukan nilai Koefisien Modifikasi Respon (R)

13.Menghitung Gaya Geser Dasar Seismik (V)

$$V = C_s \times W$$

(sumber : SNI 1726:2012, Pasal 7.8.1 pers. 21)

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{T}\right)}$$

(sumber : SNI 1726:2012, Pasal 7.8.1.1 pers. 22)

$$\text{Sehingga, } V = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{T}\right)} \times W$$

14. Menghitung Gaya Geser Dasar Seismik per Lantai (F)

$$F_x = C_s \times V \quad (\text{Sumber : SNI 1726:2012, Pasal 7.8.3 pers. 30})$$

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_t h_i^k}$$

(sumber : SNI 1726:2012, Pasal 7.8.3 pers. 31)

$$\text{Sehingga, } F_x = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_t h_i^k} \times V$$

Memasukkan Input Gaya Geser Dasar Seismik per Lantai

### 3.7.4. Kombinasi Pembebanan

Struktur harus dirancang hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai berikut yang mengacu pada tata cara perencanaan gempa telah ditetapkan pada SNI 2847:2013 pasal 9.2.1

1.  $U = 1,4D$
2.  $U = 1,2D + 1,6L + 0,5R$
3.  $U = 1,2D + 1,6L + 0,5L_r$
4.  $U = 1,2D + 1,6R + 1L$
5.  $U = 1,2D + 1,6R + 0,5W$
6.  $U = 1,2D + 1,6L_r + L$
7.  $U = 1,2D + 1,6L_r + 0,5W$
8.  $U = 1,2D + 1W + 1L + 0,5R$
9.  $U = 1,2D + 1W + 1L + 0,5L_r$
10.  $U = 1,2D + 1,6L + 0,3E_x + 1E_y$
11.  $U = 1,2D + 1,6L + 1E_x + 0,3E_y$
12.  $U = 0,9D + 1W$
13.  $U = 0,9D + 1E_x + 0,3E_y$
14.  $U = 0,9D + 0,3E_x + 1E_y$

Untuk kombinasi beban gempa vertikal berdasarkan dan faktor redudansi maka kombinasi nomor 10,11,13, dan 14 dimodifikasi. Berdasarkan SNI 1726:2012 besarnya beban gempa vertikal ditentukan sebesar  $E_v = 0,2S_d D$ , kemudian faktor redudansi berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.3.4.2 didapatkan nilai  $\rho = 1,3$ . Modifikasi kombinasi pembebanan setelah mendapat pengaruh beban vertikal dan faktor redudansi adalah sebagai berikut:

$$(a) U = (1,2 + 0,2S_d)D + 1,3E_x + 0,39E_y$$

$$(b) U = (1,2 + 0,2S_d)D + 0,39E_x + 1E_y$$

$$(c) U = (0,9 - 0,2S_d)D + 1,3E_x + 0,39E_y$$

$$(d) U = (0,9 - 0,2S_d)D + 0,39E_x + 1,3E_y$$

Untuk beban gempa, analisa terhadap arah gaya gempa yang berbalik arah maka ditambah kombinasi pembebanan sebagai berikut :

$$1. U = (1,2 + 0,2S_d)D - 1,3E_x - 0,39E_y$$

$$2. U = (1,2 + 0,2S_d)D - 0,39E_x - 1E_y$$

$$3. U = (0,9 - 0,2S_d)D - 1,3E_x - 0,39E_y$$

$$4. U = (0,9 - 0,2S_d)D - 0,39E_x - 1,3E_y$$

Keterangan :

1. D adalah beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafond, partisi tetap, tangga, dan peralatan tetap.
2. L adalah beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain.
3. Lr adalah beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material, atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak.

4. R adalah beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan oleh genangan air
5. W adalah beban angin.
6. Tanda negatif(-) menandakan arah gempa yang berlawanan

### **3.8. Analisa Model Struktur**

Permodelan struktur menggunakan program bantu ETABS dengan memasukkan data yang telah didapatkan. Pembebanan yang dilakukan menggunakan beban gempa dinamik agar memenuhi ketentuan SNI 1726:2012. Adapun hasil dari analisa ETABS berupa reaksi dan gaya dalam yang terdapat pada rangka yang kemudian dilakukan kontrol terhadap berat seismik efektif, periode fundamental struktur, geser dasar seismik, dan simpangan antar lantai.

### **3.9. Perhitungan Struktur Non Prategang Menggunakan SNI 2847:2013**

Hasil dari analisa gaya dalam menggunakan ETABS dilakukan perhitungan penulangan dan kontrol struktur non prategang sesuai dengan aturan yang ada di SNI 2847:2013. Perhitungan penulangan struktur non prategang sebagai berikut :

#### **3.9.1. Perhitungan Pelat Lantai**

Penulangan struktur sekunder berupa pelat menggunakan tabel 13.3.1 PBI-1971. Persyaratan penulangan yaitu :

1. Kontrol jarak spasi tulangan (SNI 03-2847-2013 pasal 13.3.2)
2. Kontrol jarak spasi tulangan susut dan suhu
3. Kontrol keperluan tulangan susut dan suhu (SNI 03-2847-2013 pasal 7.12 dan pasal 7.12.2.2)

4. Kontrol panjang penyaluran (SNI 03-2847-2013 pasal 13.3.3 dan 13.13.4)

### 3.9.2. Perhitungan Tangga

Pada perencanaan struktur tangga ini lebar injakan dan lebar injakan harus memenuhi persyaratan. Syarat perencanaan tangga :

$$2.t + i = 64 - 67$$

t = tinggi injakan

i = lebar injakan

Untuk perhitungan penulangan pelat tangga dan bordes sama dengan perhitungan Pelat Lantai

### 3.9.3. Perhitungan Balok

Persyaratan penulangan :

- Kontrol  $M_n$  pasang  $\geq M_n$  penulangan lentur
- Kontrol kapasitas penulangan lentur balok untuk desain SRPMK (SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.1).
- Kontrol penulangan geser balok untuk desain SRPMK (SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.2 dan pasal 21.3.4.3).
- Kontrol kebutuhan tulangan torsi (SNI 2847:2013 pasal 11.5.2 sampai dengan pasal 11.5.6)
- Kontrol panjang penyaluran tulangan (SNI 2847:2013 pasal 12).

### 3.9.4. Perhitungan Kolom

Persyaratan penulangan :

- Kontrol momen yang terjadi  $M_n$  pasang  $\geq M_n$
- Kontrol dimensi (SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.5 sampai dengan pasal 10.10.6).

- Kontrol penulangan kolom untuk desain SRPMK (SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5.2)
- Jarak antar tulangan pada kolom (SNI 21.3.5.2).

### 3.9.5. Hubungan Balok Kolom

Perhitungan HBK pada sistem rangka pemikul momen khusus harus sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.7.4.1 sampai 21.7.4.2

### 3.10. Perhitungan Struktur Utama Prategang

Dalam perencanaan beton prategang pada studi ini, metode yang digunakan adalah post-tension atau pasca tarik. Langkah-langkah perencanaan yang digunakan ialah sebagai berikut :

#### 3.10.1. Gaya Prategang

Penentuan gaya prategang awal berpengaruh pada momen total, yang kemudian gaya tersebut akan disalurkan ke penampang. Direncanakan sesuai pemilihan penampang. Gaya prategang berpengaruh pada tendon dan baja sesuai dengan eksentrisitas yang digunakan. Penentuan gaya prategang ditentukan dengan menggunakan rumus umum sebagai berikut:

$$\sigma_{cr,b} = \frac{F}{A} \pm \frac{F \cdot e}{w_{t,b}} \pm \frac{M_{DL}}{w_{t,b}} \pm \frac{M_{LL}}{w_{t,b}}$$

Dimana :	F	= gaya prategang yang diberikan
	A	= luasan penampang beton
	E	= eksentrisitas antara kabel prategang dengan sumbu netral beton
	W	= momen resisten beton (I/y)
	M <sub>dl</sub>	= momen yang terjadi akibat beban mati
	M <sub>ll</sub>	= momen yang terjadi akibat beban hidup

#### 3.10.2. Tegangan Ijin

Penentuan tegangan ijin berdasarkan SNI 2847:2013. Tegangan beton tidak boleh melampaui nilai nilai dalam SNI

2847:2013 pasal 18.4 dan tegangan baja tidak boleh melampaui nilai-nilai dalam SNI 2847:2013 pasal 18.5.

Tegangan ijin pada beton tidak boleh melebihi nilai-nilai berikut :

- Tegangan ijin pada saat pemberian gaya prategang (sebelum kehilangan):  
 $0.6f_{ci}$  Tegangan tekan serat terluar  
 $0.5\sqrt{f_{ci}}$  Tegangan tarik serat terluar  
 Dimana :  $f_{ci}$  = kuat tekan beton saat jacking
- Tegangan ijin pada saat beban kerja setelah terjadi kehilangan gaya prategang:  
 $0.45f'_c$  Tegangan tekan serat terluar  
 $ft \leq 0.62\sqrt{f'_c}$  Tegangan tekan serat terluar kelas U  
 $0.62\sqrt{f'_c} < ft \leq \sqrt{f'_c}$  Tegangan tekan serat terluar kelas T  
 $ft > \sqrt{f'_c}$  Tegangan tekan serat terluar kelas C

Tegangan baja tidak boleh melampaui nilai-nilai berikut :

- Tegangan ijin pada saat penarikan kabel (*jacking*):  
 $0.94 f_{py}$  atau  $< 0.8 f_{pu}$
- Tegangan ijin pada saat segera setelah peralihan gaya prategang:  
 $0.70 f_{pu}$

### 3.10.3. Pemilihan Tendon Baja Prategang

Pemilihan tendon baja prategang sangat dipengaruhi oleh gaya prategang yang ada. Setelah memilih tendon baja prategang, maka langkah selanjutnya adalah menentukan tata letak kabel. Tata letak kabel sangat ditentukan oleh jenis kabel yang digunakan, agar tidak melebihi batas yang telah ditetapkan.

### 3.10.4. Kehilangan Prategang

Kehilangan prategang adalah berkurangnya gaya prategang dalam tendon saat tertentu dibanding pada saat *stressing*.



Kehilangan prategang dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori, yaitu:

a. Kehilangan Segera (langung)

Kehilangan gaya prategang langsung akibat :

- Perpendekan elastis beton

Kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis beton:

$$ES = Kes \times n \times F_{cir}$$

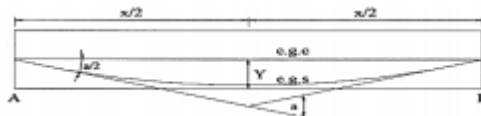
Dimana : KES = koefisien perpendekan

(untuk pasca-tarik Kes = 0.5)

N = perbandingan modulus lastisitas  
beton dan baja ( $E_s/E_c$ )

$F_{cir}$  = tegangan pada penampang beton  
( $F_0/A$ )

- Kehilangan akibat friksi atau geseran sepanjang tendon



**Gambar 3. 1** Sudut Pusat Tendon

Kehilangan gaya prategang akibat friksi dan *wobble effect*:

$$F_2 = F_1 \cdot e^{-\mu\alpha - KL}$$

Dimana :  $F_2$  = gaya prategang pada titik 1

$F_1$  = gaya prategang pada titik 2

e = panjang kabel prategang dari titik 1 ke 2

$\mu$  = koefisien geseran akibat kelengkungan  
kabel

$\alpha$  = sudut pada tendon

K = koefisien wobble

L = panjang kabel prategang titik 1 ke 2

- Kehilangan akibat slip angkur

Kehilangan gaya prategang akibat slip angkur :

$$\Delta = \frac{S_{rata-rata}}{\Delta a} \times 100\%$$

$$\Delta a = \frac{\sigma L}{Es}$$

Dimana :  $\Delta$  = kehilangan gaya prategang (%)  
 $\Delta a$  = deformasi pada angkur  
 $\sigma$  = tegangan pada beton  
 $Es$  = modulus elastisitas baja prategang  
 $S_{rata-rata}$  = harga rata-rata slip angkur (2.5mm)

- a. Kehilangan tergantung waktu

Kehilangan gaya prategang tergantung waktu akibat :

- Kehilangan gaya prategang akibat rangkai
  - Perhitungan rangkai pada *bonded tendon*

$$CR = K_{cr} \times \left( \frac{Es}{Ec} \right) \times [f_{cir} - f_{cds}]$$

Dimana:

$CR$  = kehilangan prategang akibat rangkai  
 $K_{cr}$  = koefisien rangkai; pratarik (2.0);  
 pascatarik (1.6)

$Es$  = modulus elastisitas baja

$Ec$  = modulus elastisitas beton

$f_{cir}$  = tegangan beton sesaat setelah transfer gaya prategang

$f_{cds}$  = tegangan beton pada pusat berat tendon akibat dead load

- Perhitungan rangkai pada *unbonded tendon*

$$CR = K_{cr} \times \left( \frac{Es}{Ec} \right) \times f_{cpa}$$

Dimana :  $f_{cpa}$  = tegangan tekan beton rata-rata pada pusat berat tendon

- Kehilangan Gaya Prategang Akibat Susut

Kehilangan gaya prategang akibat susut :

$$SH = \frac{8,2}{10^{-6}} \times KSH \times Es \left[ 1 - 0,06 \left( \frac{v}{s} \right) \right] [100 - RH]$$

Dimana: SH = kehilangan tegangan ada beton akibat penyusutan

Es = modulus elastisitas baja

v = volume beton dari suatu komponen struktur prategang

s = luas permukaan dari komponen struktur beton prategang

RH = kelembaban udara relative

Ksh = koefisien penyusutan

**Tabel 3. 6** Koefisien penyusutan (Ksh)

sumber : T.Y Lin and Burns, Tabel 4-4

Selisih waktu antara pengecoran dan prategangan	1	3	5	7	10	20	30	60
Ksh	0,92	0,85	0,80	0,77	0,73	0,64	0,58	0,45

b. Kehilangan Prategang Akibat Relaksasi Baja

Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja :

$$RE = [Kre - J(SH + CR + ES)] \cdot C$$

Dimana :

RE = kehilangan tegangan

C = faktor relaksasi yang tergantung jenis kawat

Kre = koefisien relaksasi

J = faktor waktu

SH = kehilangan tegangan akibat susut

CR = kehilangan tegangan akibat rangkai

ES = kehilangan tegangan akibat perpendekan elastis

### 3.10.5. Kontrol Momen Retak

Momen retak adalah momen yang menghasilkan retakan-reatakan kecil pertama pada balok beton prategang yang dihitung dengan teori elastic, dengan menganggap bahwa retakan mulai terjadi saat tegangan tarik pada serat terluar beton mencapai modulus keruntuhannya ( $f_r$ ). Momen retak dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}M_{cr} &= M_1 + M_2 \\M_1 &= F \times (e + Kt) \\M_2 &= F_r \times W_b \\F_r &= 0,7 \sqrt{f'_c}\end{aligned}$$

Dimana :  $M_{cr}$  = momen crack  
 $F$  = gaya prategang pada saat servis  
 $e$  = eksentrisitas tendon terhadap garis netral penampang beton  
 $Kt$  = daerah kern sumbu netral beton  
 $f_r$  = tegangan tarik pada serat terluar beton  
 $W_b$  = momen resisten bawah ( $I/Y_b$ )

### 3.10.6. Kontrol Momen Nominal

Kontrol terhadap tegangan yang terjadi di balok pada tahap penampang mencapai kuat nominal ( $f_{ps}$ ) yang menghasilkan nilai momen nominal. Nilai  $f_{ps}$  pada balok dapat dihitung menggunakan perumusan pada SNI 2847:2013 Pasal 18.7.

Momen nominal adalah momen batas yang dimiliki oleh penampang beton yang berfungsi untuk menahan momen ultimate dan momen retak yang terjadi. Momen nominal dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$M_n = A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot \left( d_p - \frac{a}{2} \right) = A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot \left( d_p - 0,59 \frac{A_{ps} \cdot f_{ps}}{b f_{c'}} \right)$$

Dengan ketentuan :

$$\phi M_n > M_u ; \phi M_n > 1,2 M_{cr}$$

Dimana :  $M_n$  = momen nominal  
 $M_u$  = momen ultimate ( $1,2 M_D + 1,6 M_L$ )  
 $A_{ps}$  = luasan tendon prategang  
 $f_{ps}$  = tegangan pada tulangan prategang disaat penampang mencapai kuat nominal  
 $d_p$  = jarak penampang baja ke serat atas beton  
 $b$  = lebar penampang beton  
 $f'_c$  = mutu beton  
 $\phi$  = angka reduksi (0,9)

### 3.10.7. Kontrol Kuat Batas Beton Prategang

Kuat batas balok prategang yang diakibatkan oleh beban luar berfaktor harus memiliki nilai-nilai berikut

$$1.2M_{cr} \leq M_u \leq \phi M_n$$

Dimana :  $M_{cr}$  = momen retak yang terjadi pada balok prategang  
 $M_u$  = momen *ultimate* balok prategang  
 $M_n$  = Kapasitas penampang  
 $\phi$  = Faktor reduksi

### 3.10.8. Kontrol Geser

Kontrol geser serta perhitungan tulangan geser didasari pada SNI 2847:2013 pasal 11.3. Perhitungan geser dilakukan agar struktur mampu memikul gaya geser yang diterima.

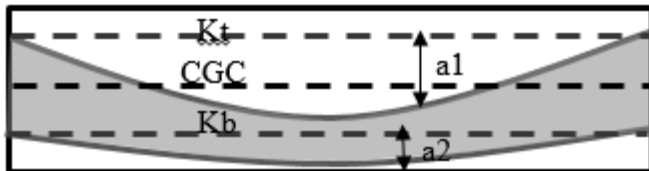
### 3.10.9. Kontrol Lendutan

Kita perlu menghitung kontrol lendutan karena lendutan merupakan tanda akan terjadinya kegagalan struktur, sehingga kita perlu untuk menghitung lendutan struktur agar tidak melebihi batas-batas yang telah ditetapkan. Lendutan dihitung menurut pembebanan, dimana berat sendiri dan beban eksternal mempengaruhi. (SNI 2847:2013 Pasal 9.5.4) batas lendutan terdapat pada SNI 2847:2013 tabel 9.5(b) Lendutan pada elemen struktur beton prategang disebabkan oleh beberapa hal, yaitu :

- a. Lendutan yang diakibatkan eksentrisitas tepi balok  
Lendutan akibat eksentrisitas tepi balok terjadi karena terdapat jarak antara eksentrisitas tepi balok dan sumbu netral penampang beton. Hal ini mengakibatkan terjadinya lendutan ke arah bawah.
- b. Lendutan yang diakibatkan tekanan tendon prategang  
Tendon yang diberikan gaya prategang mengakibatkan balok menerima lendutan dengan arah ke atas.
- c. Lendutan yang diakibatkan beban sendiri balok  
Balok prategang memiliki berat sendiri yang mengakibatkan terjadinya lendutan ke arah bawah pada balok itu sendiri.
- d. Lendutan yang diakibatkan beban mati dan hidup yang bekerja di atas balok  
Beton prategang juga menerima lendutan yang terjadi akibat adanya gaya dari luar berupa beban mati dan beban hidup yang mengakibatkan lendutan ke arah bawah. Beban-beban yang bekerja terbagi menjadi beban terpusat dan beban merata.

### 3.10.10. Daerah Limit Kabel

Daerah limit kabel merupakan daerah batas penempatan pada tendon. Tegangan tarik pada serat beton terjauh akibat beban layan tidak boleh melebihi nilai maksimum yang diijinkan oleh peraturan yang ada. Oleh karena itu diperlukan daerah batas pada penampang beton dimana pada daerah tersebut gaya prategang dapat diterapkan pada penampang tanpa menyebabkan terjadinya tegangan tarik pada penampang beton.



Gambar 3. 2 Daerah Limit Kabel

Dimana ;

$$a1(\text{atas}) = M_{max}/F$$

$$a2(\text{bawah}) = M_{min}/F_o$$

### **3.11. Penulangan Lentur**

Kontrol terhadap tegangan yang terjadi di balok pada tahap penampang mencapai kuat nominal (fps) yang menghasilkan nilai momen nominal. Nilai fps pada balok dapat dihitung menggunakan perumusan pada SNI 03-2847-2013 Ps.18.7. nilai momen nominalnya dapat dihitung menggunakan perumusan pada 2.5.2.1

### **3.12. Penulangan Geser**

Kontrol geser serta perhitungan tulangan geser didasari pada SNI 03-2847-2013 ps.11.3. Perhitungan geser dilakukan agar struktur mampu memikul gaya geser yang diterima.

### **3.13. Tinjauan Gaya Lentur Berdasarkan SNI 03-2847-2002 dan ACI 318M-14**

Dari peraturan SNI 2847:2013 didapatkan dimensi dari balok prategang yang kemudian dilakukan perhitungan penulangan balok prategang, kemudian didapatkan gaya-gaya dari hasil analisa struktur dihitung dan dikontrol kembali ditinjau dari kekuatan lentur berdasarkan SNI 03-2847-2002, dan ACI 318M-14.

### **3.14. Pengangkuran**

Pengangkuran dilakukan untuk mencegah kegagalan yang diakibatkan hancurnya bantalan beton pada daerah tepat dibelakang angkur tendon akibat tekanan yang sangat besar. Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 18.13 Daerah pengangkuran harus dianggap tersusun dari dua daerah, yaitu :

- a. Daerah lokal adalah prisma persegi(atau prisma persegi ekivalen untuk angkur oval) dari beton yang langsung mengelilingi alat angkur dan sebagian tulang pengekang

- b. Daerah umum adalah daerah pengangkuran dimana gaya prategang terpusat disalurkan ke beton dan disebarakan secara lebih merata pada seluruh penampang.

### **3.15. Hasil Perbandingan dan Pembahasan**

Hasil analisa dan keypoint dengan tinjauan kekuatan lentur balok prategang pada SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013 dan ACI 318M-14 ditabelkan dan dibandingkan. Parameter perbandingan berupa kekuatan lentur, volume dan jumlah tulangan dengan dimensi balok prategang yang sama.

### **3.16. Kesimpulan dan Saran**

Kesimpulan berupa perbandingan dari peraturan SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013 dan ACI 318M-14 dengan tinjauan kekuatan lentur balok prategang.



## **BAB IV**

### **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Data Perencanaan**

Bahan yang digunakan untuk struktur gedung ini adalah beton bertulang dengan data-data sebagai berikut :

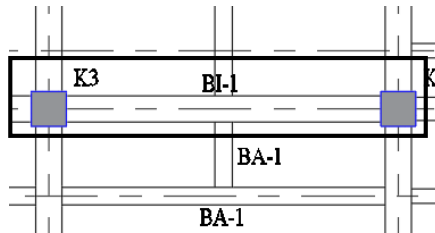
Gedung	: Apartemen Enviro
Fungsi Bangunan	: Gedung Apartemen
Lokasi	: Jl. Dokter Moewardi, Kawasan Industri Jababeka
Tinggi Total Bangunan	: $\pm 47.5$ m
Jumlah Lantai	: 14 Lantai
Variabel desain	: Beton Prategang
Lokasi Beton Prategang	: Lantai Atap
Luas Lahan	: $\pm 4200$ m <sup>2</sup>
Mutu Beton (f'c)	
Kolom	: 35 MPa
Plat dan Balok	: 25 MPa
Mutu Baja (fy)	
Ulir (D)	: BJTD 40 ; fy = 400 MPa
Polos	: BJTD 28 ; fy = 280 MPa
Mutu Beton Prategang	: 40 MPa

#### **4.2. Preliminary Desain**

##### **4.2.1. Perencanaan Dimensi Balok**

Balok adalah komponen struktur yang berfungsi menahan lentur. Sesuai dengan SNI 2847 : 2013 pasal 9.5(a), desain dimensi balok (tinggi minimum balok) dengan bentang seperti pada gambar 4.2 dan 4.3 adalah sbb :

- Dimensi balok (BI-1), bentang (L) = 6 m.



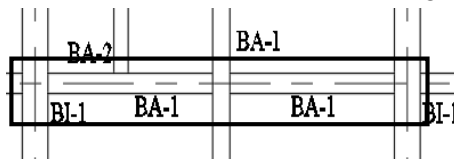
**Gambar 4. 1** Balok Primer (BI-1)

$$h_{min} = \frac{L}{16} \left( 0,4 + \frac{fy}{700} \right) = \frac{600}{16} \left( 0,4 + \frac{400}{700} \right) = 36,43 \approx 55 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} \times h = \frac{2}{3} \times 55 = 36,7 \approx 45 \text{ cm}$$

Jadi dimensi balok primer (BI-1) adalah 45/55 cm

- Dimensi balok sekunder (BA-1), bentang (L) = 6 m.



**Gambar 4. 2** Balok Sekunder (BA-1)

$$h_{min} = \frac{L}{21} \left( 0,4 + \frac{fy}{700} \right) = \frac{600}{21} \left( 0,4 + \frac{400}{700} \right) = 27,75 \approx 45 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} \times h = \frac{2}{3} \times 45 = 30 \approx 30 \text{ cm}$$

Jadi dimensi balok sekunder (BA-1) adalah 30/45 cm

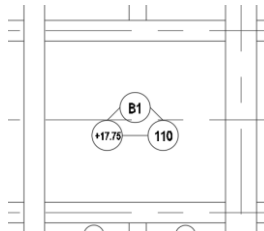
**Tabel 4. 1** Rekapitulasi Dimensi Balok Induk dan Anak

Tipe Balok	Panjang	Hitung		Pakai	
		b	h	b	h
	Mm	mm	mm	mm	mm
BI 1	6500	367	394,6	450	550
	6000	367	364,3	450	550
	5150	367	312,7	450	550
	4900	367	297,5	450	550
BI 2	3250	333	197,3	400	500
	3000	333	182,1	400	500
BA 1	6650	300	307,6	300	450
	6500	300	300,7	300	450
	6000	300	277,6	300	450
BA 2	3000	233	138,8	250	350
	2800	233	129,5	250	350
	2500	233	115,6	250	350
	1500	233	69,39	250	350

#### 4.2.2. Perencanaan Dimensi Pelat Lantai

##### a. Perencanaan tebal plat lantai 2-10

Perhitungan tipe plat B1 dengan dimensi seperti pada gambar 4.4.

**Gambar 4. 3** Tinjauan Plat Lantai Tipe B1

## b. Data Perencanaan:

Tipe Pelat	: Tipe B1
Kuat tekan beton	: 25 Mpa
Kuat leleh tulangan ( $f_y$ )	: 400 Mpa
Rencana tebal pelat	: 11 cm
Bentang pelat sumbu panjang ( $L_y$ )	: 300 cm
Bentang pelat sumbu pendek ( $L_x$ )	: 265 cm
Balok atas (BI1)	: 45/55 cm
Balok bawah (BA1)	: 30/45 cm
Balok kanan (BA1)	: 30/45 cm
Balok kiri (BA1)	: 30/45 cm

## c. Perhitungan perencanaan :

- Bentang bersih pelat sumbu panjang

$$L_n = L_y - \frac{b_w}{2} - \frac{b_w}{2}$$

$$L_n = 300 - \frac{45}{2} - \frac{30}{2} = 262,5 \text{ cm}$$

- Bentang bersih pelat sumbu pendek

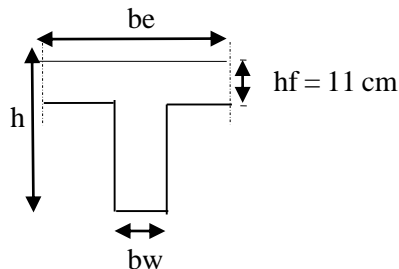
$$S_n = L_x - \frac{b_w}{2} - \frac{b_w}{2}$$

$$S_n = 265 - \frac{30}{2} - \frac{30}{2} = 235 \text{ cm}$$

- Rasio antara bentang bersih sumbu panjang terhadap bentang bersih sumbu pendek

$$\beta_n = \frac{L_n}{S_n} = \frac{262,5 \text{ cm}}{235 \text{ cm}} = 1,12 \rightarrow (\text{Pelat dua arah})$$

## 1. Balok kanan (BI1)



Lebar efektif

$$b_e = b_w + 2h_w \leq b_w + 8h_f$$

(SNI 2847:2013 pasal 13.2.4)

$$b_e = b_w + 2h_w = 45 + (2(55-11)) = 133 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 8h_f = 45 + (8 \times 11) = 133 \text{ cm}$$

maka nilai  $b_e$  (pakai nilai  $b_e$  yang terkecil) = 133 cm

(SNI 2847:2013 pasal 13.2.4)

Faktor Modifikasi (k):

(Desain Beton Bertulang **CHU-KIA WANG**  
**CHARLES G.SALMON 16.4.2.b**)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{133}{45} - 1\right) \times \left(\frac{11}{55}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{11}{55}\right) + 4\left(\frac{11}{55}\right)^2 + \left(\frac{133}{45} - 1\right) \times \left(\frac{11}{55}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{133}{45} - 1\right) \times \left(\frac{11}{55}\right)}$$

$$k = 1,56$$

Momen inersia penampang T

$$I_b = k \times b_w \times \left(\frac{h}{h_f}\right)^3$$

$$I_b = 1,56 \times 45 \times \left(\frac{55}{11}\right)^3 = 970456,693 \text{ cm}^4$$

Momen inersia lajur pelat

$$I_p = b_p \times \left(\frac{h_f}{12}\right)^3$$

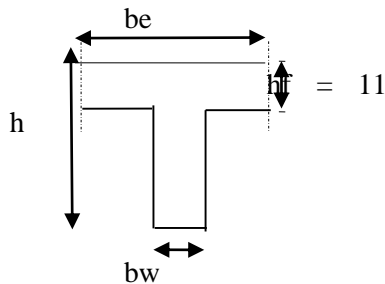
$$I_p = (0,5(265+265)) \times \left(\frac{12}{12}\right)^3 = 29393 \text{ cm}^4$$

Rasio kekuatan pelat ( $\alpha$ )

$$\alpha = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\alpha = \frac{970456,693 \text{ cm}^4}{29393 \text{ cm}^4} = 17,07$$

## 2. Balok kiri (BA1)



Lebar efektif

$$b_e = b_w + 2h_w \leq b_w + 8h_f$$

(SNI 2847:2013 pasal 13.2.4)

$$b_e = b_w + 2h_w = 30 + (2(45-11)) = 98 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 8h_f = 30 + (8 \times 11) = 118 \text{ cm}$$

maka nilai  $b_e$  (pakai nilai  $b_e$  yang terkecil) = 98 cm

(SNI 2847:2013 pasal 13.2.4)

Faktor Modifikasi ( $k$ ):

(Desain Beton Bertulang CHU-KIA WANG  
CHARLES G.SALMON 16.4.2.b)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{98}{30} - 1\right) \times \left(\frac{11}{45}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{11}{45}\right) + 4\left(\frac{11}{45}\right)^2 + \left(\frac{98}{30} - 1\right) \times \left(\frac{11}{45}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{98}{30} - 1\right) \times \left(\frac{11}{45}\right)}$$

$$k = 1,64$$

Momen inersia penampang T

$$I_b = k \times b_w \times \left(\frac{h}{h_f}\right)^3$$

$$I_b = 1,64 \times 30 \times \left(\frac{45}{11}\right)^3 = 374455,024 \text{ cm}^4$$

Momen inersia lajur pelat

$$I_p = b_p \times \left( \frac{hf}{12} \right)^3$$

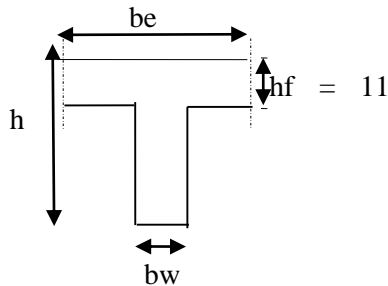
$$I_p = (0,5(265+265)) \times \left( \frac{11}{12} \right)^3 = 29393 \text{ cm}^4$$

Rasio kekuatan pelat ( $\alpha$ )

$$\alpha = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\alpha = \frac{374455,024 \text{ cm}^4}{29393 \text{ cm}^4} = 16$$

### 3. Balok atas (BA1)



Lebar efektif

$$be = b_w + 2h_w \leq b_w + 8hf$$

**(SNI 2847:2013 pasal 13.2.4)**

$$be = b_w + 2 h_w = 30 + (2 (45-11)) = 98 \text{ cm}$$

$$be = b_w + 8 hf = 30 + (8 \times 11) = 118 \text{ cm}$$

maka nilai be (pakai nilai be yang terkecil) = 98 cm

**(SNI 2847:2013 pasal 13.2.4)**

Faktor Modifikasi (k):

**(Desain Beton Bertulang CHU-KIA WANG  
CHARLES G.SALMON 16.4.2.b)**

$$k = \frac{1 + \left( \frac{be}{bw} - 1 \right) \times \left( \frac{hf}{h} \right) \times \left[ 4 - 6 \left( \frac{hf}{h} \right) + 4 \left( \frac{hf}{h} \right)^2 + \left( \frac{be}{bw} - 1 \right) \times \left( \frac{hf}{h} \right)^3 \right]}{1 + \left( \frac{be}{bw} - 1 \right) \times \left( \frac{hf}{h} \right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{98}{30} - 1\right) \times \left(\frac{11}{45}\right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{11}{45}\right) + 4 \left(\frac{11}{45}\right)^2 + \left(\frac{98}{30} - 1\right) \times \left(\frac{11}{45}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{98}{30} - 1\right) \times \left(\frac{11}{45}\right)}$$

$$k = 1,64$$

Momen inersia penampang T

$$I_b = k \times b_w \times \left(\frac{h}{h_f}\right)^3$$

$$I_b = 1,64 \times 30 \times \left(\frac{45}{11}\right)^3 = 374455,024 \text{ cm}^4$$

Momen inersia lajur pelat

$$I_p = b_p \times \left(\frac{h_f}{12}\right)^3$$

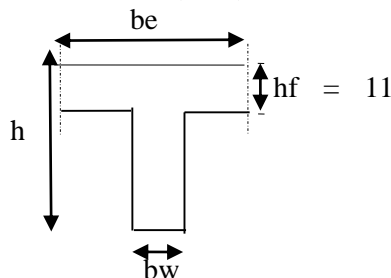
$$I_p = (0,5(300+300)) \times \left(\frac{11}{12}\right)^3 = 33275 \text{ cm}^4$$

Rasio kekuatan pelat ( $\alpha$ )

$$\alpha = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\alpha = \frac{374455,024 \text{ cm}^4}{33275 \text{ cm}^4} = 11,253$$

#### 4. Balok bawah (BA1)



Lebar efektif

$$b_e = b_w + 2h_w \leq b_w + 8h_f$$

(SNI 2847:2013 pasal 13.2.4)



$$be = bw + 2 hw = 30 + (2 (45-11)) = 98 \text{ cm}$$

$$be = bw + 8 hf = 30 + (8 \times 11) = 118 \text{ cm}$$

maka nilai be (pakai nilai be yang terkecil) = 98 cm

**(SNI 2847:2013 pasal 13.2.4)**

Faktor Modifikasi (k):

**(Desain Beton Bertulang CHU-KIA WANG  
CHARLES G.SALMON 16.4.2.b)**

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \times \left(\frac{hf}{h}\right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{hf}{h}\right) + 4 \left(\frac{hf}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \times \left(\frac{hf}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \times \left(\frac{hf}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{98}{30} - 1\right) \times \left(\frac{11}{45}\right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{11}{45}\right) + 4 \left(\frac{11}{45}\right)^2 + \left(\frac{98}{30} - 1\right) \times \left(\frac{11}{45}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{98}{30} - 1\right) \times \left(\frac{11}{45}\right)}$$

$$k = 1,64$$

Momen inersia penampang T

$$I_b = k \times bw \times \left(\frac{h}{hf}\right)^3$$

$$I_b = 1,64 \times 30 \times \left(\frac{45}{11}\right)^3 = 374455,024 \text{ cm}^4$$

Momen inersia lajur pelat

$$I_p = bp \times \left(\frac{hf}{12}\right)^3$$

$$I_p = (0,5(300+300)) \times \left(\frac{11}{12}\right)^3 = 33275 \text{ cm}^4$$

Rasio kekuatan pelat ( $\alpha$ )

$$\alpha = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\alpha = \frac{374455,024 \text{ cm}^4}{33275 \text{ cm}^4} = 11,253$$

Dari keempat balok diatas didapatkan rata-rata:

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4}$$

$$\alpha_m = \frac{33,027+12,74+11,253+11,253}{4}$$

$$= 17,07 > 2$$

(SNI 2847:2013 pasal. 9.5.3.3(c))

$$t = L_n \times \left( \frac{0,8 + \frac{f_y}{1400}}{36 + 9\beta} \right) \geq 90 \text{ mm}$$

$$t = 2625 \times \left( \frac{0,8 + \frac{400}{1400}}{36 + (9 \times 1,12)} \right) \geq 90 \text{ mm}$$

$$t = 61,88 \text{ mm} \geq 90 \text{ mm}$$

- Maka dimensi tebal pelat lantai menggunakan  $t=110\text{mm}$

**Tabel 4. 2** Rekapitulasi Tebal Pelat

Tipe	Joint	Ix	Iy	Jenis Plat	Tebal Pelat
A1	B1-B2, 1-2	150	150	Pelat dua arah	110 mm
B1	B1-B3, 2-4	265	300	Pelat dua arah	110 mm
C1	B1-B2, 4-5	100	150	Pelat dua arah	110 mm
D1	B1-C, 6-7	190	600	Pelat satu arah	110 mm
E1	D-E, 8-9	115	300	Pelat satu arah	110 mm
F1	G1-G2, 1-2	150	175	Pelat dua arah	110 mm
G1	G-G2, 2-4	265	325	Pelat dua arah	110 mm
H1	G1-G2, 4-5	100	175	Pelat satu arah	110 mm
I1	G-H, 6-7	190	600	Pelat satu arah	110 mm
J1	G-G2, 7-8	135	325	Pelat satu arah	110 mm
K1	G2-H, 8-9	260	325	Pelat dua arah	110 mm
L1	B-B1, 8-12	150	515	Pelat satu arah	110 mm
M1	B1-B3, 1-2	150	300	Pelat satu arah	110 mm
N1	B1-B3, 2-3	130	300	Pelat satu arah	110 mm
O1	B1-B3, 3-5	235	300	Pelat dua arah	110 mm

Tipe	Joint	Ix	Iy	Jenis Plat	Tebal Pelat
P1	G1-G2, 1-2	150	175	Pelat dua arah	110 mm
Q1	G1-G2, 2-3	130	175	Pelat dua arah	110 mm
R1	G-G2, 3-4	235	325	Pelat dua arah	110 mm
A2	B1-C, 1-5	515	600	Pelat dua arah	110 mm
B2	B1-C, 5-8	490	600	Pelat dua arah	110 mm
C2	D-E, 1-5	300	515	Pelat dua arah	110 mm
D2	D-E, 5-8	300	490	Pelat dua arah	110 mm
E2	G-G2, 1-5	325	515	Pelat dua arah	110 mm
F2	G-G2, 5-8	325	490	Pelat dua arah	110 mm
G2	B-B1, 1-5	150	515	Pelat satu arah	110 mm

#### 4.2.1. Perencanaan Dimensi Kolom

Desain kolom yang memikul beban terbesar adalah kolom yang memikul beban terbesar yaitu pada kolom As D – 5 sebagaimana diperlihatkan pada gambar 4.4.

Menurut SNI 2847 : 2013 pasal 10.8.4 kolom harus direncanakan untuk memikul beban aksial terfaktor yang bekerja pada semua lantai atau atap dan momen maksimum dari beban terfaktor pada satu bentang terdekat dari lantai atau atap yang ditinjau.

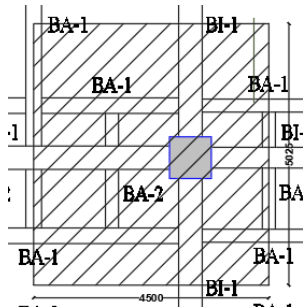
Direncanakan :

Tebal plat	: 11 cm = 110 mm
Tinggi lt. 1	: 5 m
Tinggi lt. 2 – lt. 12	: 3,2 m
Tinggi lt. 12a	: 5 m
Tinggi lt. Roof top	: 2,3 m
Dimensi plat	: 5,025 m x 4,5 m
Dimensi Balok	: BI 1 = 45/55
	BI 2 = 40/50

BA 1 = 30/45

BA 2 = 25/35

Mutu Beton (F'c) : 35 Mpa



Gambar 4. 4 Daerah Pembebanan Kolom

**Beban Mati (DL)**

Untuk beban mati pada lantai, dapat dilihat pada tabel 4.3 untuk lantai apartemen dan tabel 4.6 untuk lantai atap.

Tabel 4. 3 Beban Mati pada 2-10 Lantai

Elemen	b	h	L	tp	n	Qd (kg)
	(m)	(m)	(m)	(m)		
BI 1 as 5 45/55	0,45	0,55	3			1782
BI 1 as D 45/55	0,45	0,55	5,025		0,5	1492,43
BI 2 as 5 40/50	0,4	0,5	1,5			720
BA 1 as C2 30/45	0,3	0,45	4,075		0,5	660,15
BA 1 as 4 dan 6 30/45	0,3	0,45	3		2	1944
BA 2 as 4 dan 6 25/35	0,25	0,35	1,5		2	630
BA 2 as C3 25/35	0,25	0,35	3			525
BA 2 as D1 25/35	0,25	0,35	2,5		0,5	262,5
Dinding as 4			1,5	3,2		548,4
Dinding as 6			4,5	3,2		1645,2
Dinding as C2			4,075	3,2	0,5	744,91
Dinding as C3			2,5	3,2		914
Dinding as D			5,025	3,2		1837,14
Dinding as D1			2,5	3,2	0,5	457
Kolom	1	1	3,2			7680
Plat	5,025	4,5				54270
Total						76112,7

**Tabel 4. 4** Beban Mati pada Lantai 11-12

Elemen	<b>b</b>	<b>h</b>	<b>L</b>	<b>tp</b>	<b>n</b>	<b>Qd</b>
	(m)	(m)	(m)	(m)		(kg)
BI 1 as 5 45/55	0,45	0,55	3			1782
BI 1 as D 45/55	0,45	0,55	5,025			2984,85
BI 2 as 5 40/50	0,4	0,5	1,5		0,5	360
BA 1 as C2 30/45	0,3	0,45	4,075		0,5	660,15
BA 1 as 3 dan 6 30/45	0,30	0,45	3		2	1944
BA 2 as 4 dan 6 25/35	0,25	0,35	1,5		2	630
BA 2 as D1 25/35	0,25	0,35	2,5		0,5	262,5
Dinding as 3			3,0	3,2		1096,80
Dinding as 4			1,5	3,2		548,4
Dinding as 6			4,5	3,2		1645,2
Dinding as C2			1,5	3,2	0,5	548,4
Dinding as D			5,025	3,2		1837,14
Dinding as D1			2,5	3,2	0,5	457
Kolom	0,6	0,6	3,2			2764,8
Plat	5,025	4,5				8976,94
Total						26498,2

**Tabel 4. 5** Beban Mati pada Lantai 12a

Elemen	<b>b</b>	<b>h</b>	<b>L</b>	<b>tp</b>	<b>n</b>	<b>Qd</b>
	(m)	(m)	(m)	(m)		(kg)
BI 1 as 5 45/55	0,45	0,55	3			1782
BI 1 as D 45/55	0,45	0,55	5,025			2984,85
BI 2 as 5 40/50	0,4	0,5	1,5		0,5	360
BA 1 as C2 30/45	0,3	0,45	4,075		0,5	660,15
BA 1 as 3 dan 6 30/45	0,30	0,45	3		2	1944
BA 2 as 4 dan 6 25/35	0,25	0,35	1,5		2	630
BA 2 as D1 25/35	0,25	0,35	2,5		0,5	262,5
Dinding as 4 dan 6			1,5	5	2	1713,75
Dinding as D			5,025	5		2870,53
Dinding as D1			2,5	5	0,5	714,063
Kolom	0,6	0,6	5			4320
Plat 1	5,025	3				5984,62
Plat 2	5,025	1,5				2992,31
Total						27218,8

**Tabel 4. 6** Beban Mati pada Lantai Atap

Elemen	b	h	L	tp	n	Qd
	(m)	(m)	(m)	(m)		(kg)
BP as 3 45/65	0,45	0,65	12,00			8424
BP as 6-7 45/65	0,45	0,65	12,00		0,50	4212
BI 1 as D 45/55	0,45	0,55	5,03			2985
BI 2 as 5 40/50	0,40	0,50	1,50		0,50	360
Plat 1	5,03	4,50				10571
Total						26552

**Beban Hidup (LL) :**

Menurut SNI 1727 : 2013 pasal 4.7.2 komponen struktur yang memiliki nilai  $K_{LL}A_T \geq 37,16 \text{ m}^2$  diijinkan untuk dirancang dengan beban hidup tereduksi.

- Beban hidup pada lantai 2-12a

$$L_o = 1,92 \text{ kN/m}^2 = 192 \text{ kg/m}^2$$

$$A_T = 5,025 \text{ m} \times 4,5 \text{ m} = 22,61 \text{ m}^2$$

$$K_{LL} = 4 \quad (\text{Sesuai SNI 1726 : 2013 Tabel 4.2})$$

$$K_{LL}A_T = 4 \times 22,61 = 90,45 \text{ m}^2$$

Maka,  $90,45 \text{ m}^2 \geq 37,16 \text{ m}^2$  (beban hidup dapat direduksi)

$$L = L_o \left( 0,25 + \frac{4,57}{\sqrt{K_{LL}A_T}} \right) \geq 0,4L_o$$

$$L = 192 \left( 0,25 + \frac{4,57}{\sqrt{90,45}} \right) \geq 0,4 \times 192$$

$$L = 140,3 \text{ kg/m}^2 \geq 76,8 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi, beban hidup lantai} &= 140,3 \text{ kg/m}^2 \times 5,025 \text{ m} \times 4,5 \text{ m} \\ &= 3171,628 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Beban hidup pada lantai 12a

$$L_o = 0,96 \text{ kN/m}^2 = 96 \text{ kg/m}^2$$

$$A_t = 5,025 \text{ m} \times 4,5 \text{ m} = 22,612 \text{ m}^2$$

$$R_1 = 1,2 - 0,011 \times A_t = 1,2 - 0,011 \times 22,612 = 0,951$$

$$R_2 = 1$$

$$L_r = L_o \times R_1 \times R_2 = 0,96 \times 0,951 \times 1 = 0,913 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Syarat, } 0,58 < L_r < 0,96$$

$$0,58 < 0,913 < 0,96$$

$$\text{Maka, nilai } L_r = 0,913 \text{ kN/m}^2 = 91,32 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi, beban hidup lantai Atap} &= 91,32 \text{ kg/m}^2 \times 5,025 \text{ m} \times 4,5 \text{ m}^2 \\ &= 2065 \text{ kg} \end{aligned}$$

### **Perencanaan Dimensi Kolom :**

Dimensi kolom direncanakan tiap 5 lantai.

- Beban akibat berat sendiri kolom :

$$\text{Direncanakan dimensi kolom} = 100 \text{ cm} \times 100 \text{ cm}$$

$$W_{\text{kolom}} = b \times h \times T \times B_j = 1 \times 1 \times 3,2 \times 2400 = 7680 \text{ kg}$$

- Kombinasi beban

$$DL = (W_{\text{lantai}} \times n) + W_{\text{Lt. Atap}}$$

$$\begin{aligned} &= (76112,7 \times 4) + (73347,9 \times 5) + (26498,2 \times 2) + 2721,8 + 31899,6 \\ &= 784486 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$LL = W_{\text{lantai}} \times n = (3171,6 \times 11) + 7220,9 + 2065 = 44173,83 \text{ kg}$$

$$Qu = 1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$$

$$\begin{aligned} &= 1,2(784486) + 1,6(44173,83) + 0,5(222) \\ &= 1012282,75 \text{ kg} \end{aligned}$$

Diambil kondisi yang paling menentukan,  $Qu = 1012282,75 \text{ kg}$

Dimensi,  $h = b$

$$A = \frac{P}{0,3x f'_c} = \frac{1012282,75}{0,3x35} = 867670,932 \text{ mm}^2$$

Dimensi :  $h = b$ , jadi  $A = b \times b = b^2$

$$b = \sqrt{A} = \sqrt{867670,932} = 931 \text{ mm} \approx 100 \text{ cm}$$

Jadi, dipakai dimensi kolom 100 x 100 cm.

Dengan cara yang sama didapatkan resume kolom dari masing-masing tingkat lantai seperti pada tabel 4.7.

**Tabel 4. 7** Rekapitulasi Dimensi Kolom

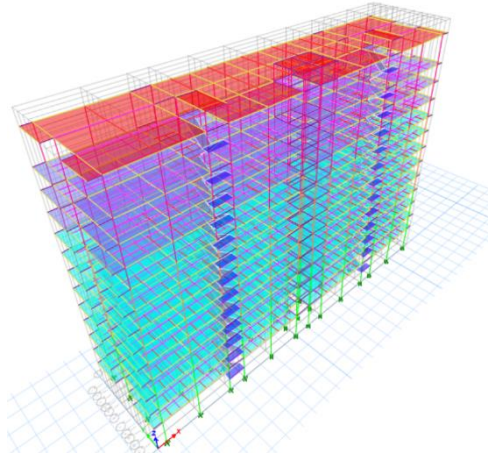
Lantai	L	P	A	Hasil		Pakai	
				b	h	b	h
	m	kg	mm <sup>2</sup>	mm	mm	cm	cm
Lantai 2-5	3,2	1012282,75	867670,932	931,5	931,5	100	100
Lantai 6-10	3,2	537122,791	537122,791	732,9	732,9	80	80
Lantai 11-Atap	3,2	131442,072	131442,072	362,5	362,5	60	60

### 4.3. Permodelan Struktur

Struktur yang direncanakan adalah gedung hotel yang terdiri dari 14 lantai dengan total tinggi struktur 47,5 meter. Permodelan struktur gedung Apartemen Enviro Bekasi dilakukan menggunakan program bantu ETABS. Program ini akan membantu dalam beberapa perhitungan yang akan digunakan untuk mengecek apakah struktur sudah memenuhi persyaratan yang ada di SNI 1726:2012 (Gempa).



Berikut adalah permodelan yang sudah dilakukan dalam program ETABS :



**Gambar 4. 5** Permodelan pada ETABS

#### 4.3.1. Perhitungan Berat Struktur

Data perencanaan struktur seperti data luas lantai, tinggi struktur, panjang balok induk, dan balok anak merupakan data data yang diperlukan dalam perhitungan berat struktur.

##### 4.3.1.1. Kontrol Berat Struktur Manual dengan ETABS

Perhitungan beban mati dan beban hidup gedung Apartemen Enviro Bekasi pada masing-masing lantai.

**Tabel 4. 8** Beban Mati Struktur Manual

Lantai	Bagian	Berat Jenis	Luas	Panjang	Jumlah	Berat
		kg/m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup>	m		kg
Lantai 2	Kolom (100/100)	2400	1	5	53	636000
	BI 1 (45/55)	2400	0,248	4,15	26	64092,6
		2400	0,248	3,9	12	27799,2
		2400	0,248	5	32	95040
		2400	0,248	5,5	2	6534

	BI 2 (40/50)	2400	0,200	3,15	3	4536
		2400	0,200	4,5	3	6480
		2400	0,200	2	8	7680
		2400	0,200	1	8	3840
	BA1 (30/45)	2400	0,135	6,65	17	36628,2
		2400	0,135	6,5	4	8424
		2400	0,135	6	24	46656
		2400	0,135	3	48	46656
		2400	0,135	1,5	1	486
	BA 2 (25/35)	2400	0,088	1,5	38	11970
		2400	0,088	2,5	36	18900
		2400	0,088	3	10	6300
	BD (30/45)	2400	0,135	3	2	1944
	Pelat Tangga	2400	5,255	0,23	4	11603,33
	Pelat Bordes	2400	3,600	0,15	2	2592
	Pelat	2400	910	0,11		240177,3
Lantai 3 - 5	Kolom (100/100)	2400	1	3,2	53	407040
	BI 1 (45/55)	2400	0,248	4,15	26	64092,6
		2400	0,248	3,9	12	27799,2
		2400	0,248	5	32	95040
		2400	0,248	5,5	2	6534
	BI 2 (40/50)	2400	0,200	3,15	3	4536
		2400	0,200	4,5	3	6480
		2400	0,200	2	8	7680
		2400	0,200	1	8	3840
	BA1 (30/45)	2400	0,135	6,65	17	36628,2
		2400	0,135	6,5	5	10530
		2400	0,135	6,5	4	8424
		2400	0,135	6	24	46656
		2400	0,135	1,5	1	486
	BA 2 (25/35)	2400	0,088	1,5	38	11970
		2400	0,088	2,5	36	18900
		2400	0,088	3	10	6300
	BD (30/45)	2400	0,135	3	2	1944
	Pelat Tangga	2400	4,515	0,23	4	9968,83
	Pelat Bordes	2400	3,600	0,15	2	2592
	Pelat	2400	910	0,11		240177,3
Lantai 6 - 10	Kolom (80/80)	2400	0,64	3,2	53	260505,6
	BI 1 (45/55)	2400	0,248	4,15	26	64092,6
		2400	0,248	3,9	12	27799,2
		2400	0,248	5	32	95040
		2400	0,248	5,5	2	6534
	BI 2 (40/50)	2400	0,200	3,15	3	4536
		2400	0,200	4,5	3	6480
		2400	0,200	2	8	7680
		2400	0,200	1	8	3840

Lantai 6- 10	BA1 (30/45)	2400	0,135	6,65	17	36628,2
		2400	0,135	6,5	5	10530
		2400	0,135	6,5	4	8424
		2400	0,135	6	24	46656
		2400	0,135	1,5	1	486
	BA 2 (25/35)	2400	0,088	1,5	38	11970
		2400	0,088	2,5	36	18900
		2400	0,088	3	10	6300
	BD (30/45)	2400	0,000	3	2	0
	Pelat Tangga	2400	9,750	0,23	4	21528
Lantai 11-12	Pelat Bordes	2400	3,600	0,15	2	2592
	Pelat	2400	910	0,11		240177,3
	Kolom (60/60)	2400	0,360	3,2	53	146534,4
	BI 1 (45/55)	2400	0,248	4,15	26	64092,6
		2400	0,248	3,9	12	27799,2
		2400	0,248	5	32	95040
		2400	0,248	5,5	2	6534
		2400	0,200	3,15	3	4536
	BI 2 (40/50)	2400	0,200	4,5	3	6480
		2400	0,200	2	8	7680
		2400	0,200	1	8	3840
		2400	0,135	6,65	17	36628,2
	BA1 (30/45)	2400	0,135	6,5	5	10530
		2400	0,135	6,5	4	8424
		2400	0,135	6	24	46656
		2400	0,135	1,5	1	486
		2400	0,088	1,5	4	1260
		2400	0,088	2,8	17	9996
	BA 2 (25/35)	2400	0,088	2,5	2	1050
		2400	0,088	3	10	6300
	BD (30/45)	2400	0,135	3	2	1944
	Pelat Tangga	2400	4,515	0,23	4	9968,82
	Pelat Bordes	2400	3,600	0,15	2	2592
	Pelat	2400	910	0,11		240177,3
Lantai 12a	Kolom (60/60)	2400	0,360	3,2	53	146534,4
	BI 1 (45/55)	2400	0,248	4,15	26	64092,6
		2400	0,248	3,9	12	27799,2
		2400	0,248	5	32	95040
		2400	0,248	5,5	2	6534
		2400	0,200	3,15	3	4536
	BI 2 (40/50)	2400	0,200	4,5	3	6480
		2400	0,200	2	8	7680
		2400	0,200	1	8	3840
		2400	0,135	6,65	17	36628,2
	BA1 (30/45)	2400	0,135	6,5	4	8424
		2400	0,135	6	24	46656

	BA 2 (25/35)	2400	0,135	3	48	46656
		2400	0,135	1,5	1	486
		2400	0,088	1,5	4	1260
		2400	0,088	2,8	9	5292
		2400	0,088	2,5	2	1050
		2400	0,088	3	10	6300
	BD (30/45)	2400	0,135	3	2	1944
	Pelat Tangga	2400	4,515	0,23	4	9968,820
	Pelat Bordes	2400	3,600	0,15	2	2592
	Pelat	2400	910	0,11		240177,3
Lantai atap	Kolom (60/60)	2400	0,360	5	49	211680
	BI 1 (45/55)	2400	0,248	4,15	22	54232,2
		2400	0,248	3,9	10	23166
		2400	0,248	5	24	71280
		2400	0,248	5,5	2	6534
	BI 2 (40/50)	2400	0,200	3,15	3	4536
		2400	0,200	4,5	3	6480
		2400	0,200	2	8	7680
		2400	0,200	1	8	3840
	BA 2 (25/35)	2400	0,088	5,15	13	14059,5
		2400	0,088	4,9	7	7203
		2400	0,088	3	2	1260
	BD (30/45)	2400	0,135	3	2	1944
	BP (40/60)	2400	0,293	12	4	33696
	Pelat Tangga	2400	5,255	0,23	4	11603,33
	Pelat Bordes	2400	3,600	0,15	2	2592
	Pelat	2400	6,900	0,11		1821,6
	Pelat Atap	2400	903	0,11		238355,7
Lantai RoofTop	Kolom (60/60)	2400	0,360	2,3	17	33782,4
	BI 1 (45/55)	2400	0,248	4,15	4	9860,4
		2400	0,200	3,15	3	4536
	BI 2 (40/50)	2400	0,200	4,5	3	6480
		2400	0,200	2	4	3840
		2400	0,135	3,25	2	2106
	Pelat Atap	2400	64	0,11		16995

**Tabel 4. 9** Beban Mati Tambahan Struktur Manual

Lantai	Bagian	Beban Mati	Berat Jenis	Panjang	Luas	Berat
			kg/m <sup>3</sup>	m	m <sup>2</sup>	kg
Lantai 2	Pelat Lantai	Spesi	21	2	910	38210,025
		Keramik	16,5			15011,081
		Penggantung	8			7278,100
		Plafon	1,49			1355,546

		Instalasi Listrik	40			36390,500
		Perpipaan	25			22744,063
		Dinding	114,25	732,4	3,2	267747,160
		Dinding Balkon	114,25	87,1	1,5	14926,763
	Pelat Tangga	Spesi	21	2	21,021	882,862
		Keramik	16,5			346,839
	Pelat Bordes	Spesi	21	2	7,200	302,400
		Keramik	16,5			118,800
	Lantai 3-10	Spesi	21	2	910	38210,025
		Keramik	16,5			15011,081
		Penggantung	8			7278,100
		Plafon	1,49			1355,546
		Instalasi Listrik	40			36390,500
		Perpipaan	25			22744,063
		Dinding	114,25	732,4	3,2	267747,160
		Dinding Balkon	114,25	87,1	1,5	14926,763
		Spesi	21	2	18,059	758,497
		Keramik	16,5			297,981
Lantai 11-12	Pelat Lantai	Spesi	21	2	910	38210,025
		Keramik	16,5			15011,081
		Penggantung	8			7278,100
		Plafon	1,49			1355,546
		Instalasi Listrik	40		910	36390,500
		Perpipaan	25			22744,063
		Dinding	114,25	681,3	3,2	249065,000
		Dinding Balkon	114,25	61,1	1,5	10471,013
	Pelat Tangga	Spesi	21	2	18,059	758,497
		Keramik	16,5			297,981
Lantai 12a	Pelat Lantai	Spesi	21	2	910	302,400
		Keramik	16,5			118,800
		Spesi	21	2	910	38210,025
		Keramik	16,5			15011,081
		Penggantung	8			7278,100
		Plafon	1,49			1355,546
		Instalasi Listrik	40		910	36390,500
		Perpipaan	25			22744,063
	Pelat Tangga	Dinding	114,25	493,7	5	281997,563
		Dinding Balkon	114,25	49,1	1,5	8414,513
Lantai 12b	Pelat Tangga	Spesi	21	2	18,059	758,497
		Keramik	16,5			297,981
	Pelat Bordes	Spesi	21	2	7,200	302,400
		Keramik	16,5			118,800
	Pelat Lantai	Aspal	14	2	903	25280,150
		Penggantung	8			7222,900

		Plafon	1,49			1345,265
		Instalasi Listrik	40			36114,500
		Perpipaan	25			22571,563
		Dinding	114,25	64,3	2,3	16896,433
	Pelat Tangga	Spesi	21	2	21,021	882,862
		Keramik	16,5			346,839
	Pelat Bordes	Spesi	21	2	7,200	302,400
		Keramik	16,5			118,800
	Lantai RoofTop	Aspal	14	2	64	1802,500
		Penggantung	8			515,000
		Plafon	1,49			95,919
		Instalasi Listrik	40			2575,000
		Perpipaan	25			1609,375

**Tabel 4. 10** Beban Hidup Struktur Manual

Lantai	Bagian	Berat Jenis	Luas	Berat
		kg/m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup>	kg
Lantai 2	Pelat Lantai 1	192	910	174674
	Pelat Tangga	479	21,021	10068,8
	Pelat Bordes	479	7,200	3448,8
Lantai 3-10	Pelat Lantai 1	192	910	174674
	Pelat Tangga	479	18,059	8650,48
	Pelat Bordes	479	7,200	3448,8
Lantai 11-12	Pelat Lantai 1	192	910	174674
	Pelat Tangga	479	18,059	8650,48
	Pelat Bordes	479	7,200	3448,8
Lantai 12a	Pelat Lantai 1	192	545	104633
	Pelat Lantai Hall	479	365	174739
	Pelat Tangga	479	21,021	10068,8
	Pelat Bordes	479	7,200	3448,8
Lantai Atap	Pelat Lantai Atap	96	903	86674,8
	Pelat Lantai 1	192	7	1324,8
	Pelat Tangga	479	21,021	10068,8
	Pelat Bordes	479	7,200	3448,8
Lantai RoofTop	Pelat Lantai Atap	96	64	6180
	Lift			22350

**Tabel 4. 11** Rekap Beban Struktur Total Manual

Lantai	Jenis Beban	Berat
		kg
Lantai 2	Beban Mati	1284338,629
	Beban Mati Tambahan	405314,138
	Beban Hidup	188192,0307

Lantai 3-5	Beban Mati	3052854,361
	Beban Mati Tambahan	1215422,747
	Beban Hidup	560321,0402
Lantai 6-10	Beban Mati	4403494,5
	Beban Mati Tambahan	2025704,578
	Beban Hidup	1494189,441
Lantai 11-12	Beban Mati	1477097,041
	Beban Mati Tambahan	764006,0113
	Beban Hidup	373547,3601
Lantai 12a	Beban Mati	769970,5205
	Beban Mati Tambahan	412879,0681
	Beban Hidup	292889,6307
Lantai Atap	Beban Mati	701963,3289
	Beban Mati Tambahan	111081,711
	Beban Hidup	101517,2307
Lantai RT	Beban Mati	77599,8
	Beban Mati Tambahan	6597,794
	Beban Hidup	28530
Total		19747510,96

Berikut hasil output ETABS berupa *base reaction* :

**Tabel 4. 12** Berat Struktur Output Base Reaction ETABS  
**TABLE: Base Reactions**

Load Case/Combo	FZ
	kN
Dead	120131,9102
Aspal	270,8265
Plafon	178,3801
Penggantung	951,3606
Listrik	4756,803
Pipa	2973,0019
Spesi	4728,6775
Keramik	1857,6947
Dinding	33696,4605
Beban Hidup Atap	928,548
Beban Hidup Hall	1747,392
Beban Hidup Apartemen	20239,7875
Beban Hidup Tangga	1599,7931
Lift	223,6
Total	194284,236
Total (kg)	19428423,56

Adapun perhitungan kontrol rasio antara berat total *base reaction* dengan berat total manual struktur yaitu :

$$\begin{aligned} \text{Rasio} &= \frac{\text{berat total manual struktur}-\text{berat total base reaction}}{\text{berat total manual struktur}} \times 100\% \\ &= \frac{19747510,96-19428423,56}{19428423,56} \times 100\% = 1,62 \% \text{ (Memenuhi)} \end{aligned}$$

#### 4.3.2. Analisis beban Seismik

Pada struktur gedung Apartemen Enviro Bekasi ini mempunyai jumlah lantai 14 tingkat dengan ketinggian 47,5 m. Perhitungan beban gempa pada struktur ini ditinjau dengan pengaruh gempa dinamik sesuai SNI 1726:2012. Analisisnya dilakukan berdasarkan analisis respon dinamik dengan parameter-parameter yang sudah ditentukan.

##### 4.3.2.1. Menentukan Kategori Risiko Bangunan dan Faktor Keutamaan ( $I_e$ )

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan  $I_e$ . Gedung ini direncanakan sebagai bangunan apartemen. Pada Tabel 1 SNI 1726:2012 bangunan ini termasuk kategori II sehingga didapat nilai  $I_e = 1,0$ .

**Tabel 4. 13** Kategori Risiko Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Gedung apartemen/ rumah susun</span></li> <li>- Pusat perbelanjaan/ mall</li> </ul>	II



<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul>	
---	--

**Tabel 4. 14** Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor keutamaan gempa, $I_e$
I atau II	1
III	1,25
IV	1,5

#### 4.3.2.2. Menentukan Klasifikasi Situs

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 5.1 penentuan klasifikasi situs dilakukan dengan menentukan tahanan penetrasi rata-rata ( $\bar{N}$ ) dengan menggunakan Rumus 3.1 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.19.

**Tabel 4. 15** Data  $N_{SPT}$

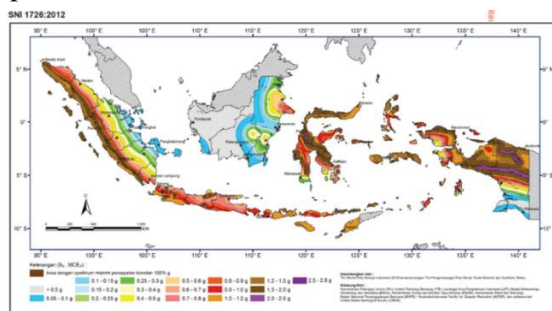
Lapisan ke-i	Tebal Lapisan	Nilai SPT	di/Ni
	M		
1	2	6	0,333
2	2	5	0,400
3	2	10	0,200
4	2	12	0,167
5	2	16	0,125
6	2	18	0,111
7	2	17	0,118
8	2	19	0,105
9	2	18	0,111
10	2	16	0,125
11	1,5	27	0,056
12	1,5	31	0,048
13	1,5	33	0,045

14	1,5	36	0,042
15	1,5	33	0,045
16	1,5	31	0,048
17	1,5	34	0,044
$\Sigma$	30,5		1,559

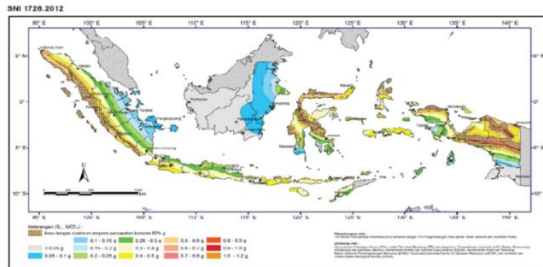
Maka tahanan penetrasi rata-rata ( $\bar{N}$ ) adalah :  
 $\bar{N} = \frac{30,5}{1,559} = 19,564$  , termasuk dalam klasifikasi situs tanah sedang (SD).

#### 4.3.2.3. Menentukan Parameter Percepatan Tanah ( $S_s$ , $S_1$ )

Parameter  $S_I$  (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan  $S_s$  (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spectral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCER, 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Sesuai pada gambar 4.29 dan gambar 4.30 di bawah ini, nilai  $S_s = 0,667$  g dan  $S_1 = 0,295$  g mengacu pada SNI 1726 : 2012.



**Gambar 4. 6** Respon spectral percepatan periode 0,2 detik



**Gambar 4. 7** Respon spectral percepatan periode 1 detik

#### 4.3.2.4. Menentukan Koefisien Lokasi $F_a$ dan $F_v$

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 6.2 koefisien situs  $F_a$  dan  $F_v$  ditentukan berdasarkan tabel 4 dan 5 pada SNI 1726:2012.

- Menentukan  $F_a$

Berdasarkan tabel 4 pada SNI 1726:2012 serta dengan menggunakan parameter  $S_s$  dengan klasifikasi situs tanah sedang (SD) didapatkan  $F_a$  sebesar 1,26.

- Menentukan  $F_v$

Berdasarkan tabel 5 pada SNI 1726:2012 serta dengan menggunakan parameter  $S_I$  dengan klasifikasi situs tanah sedang (SD) didapatkan  $F_v$  sebesar 1,81.

#### 4.3.2.5. Menghitung nilai $S_{MS}$ dan $S_{M1}$

Berdasarkan SNI 1726 : 2012 Pasal 6.2 untuk menentukan parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek ( $S_{MS}$ ) dan perioda 1 detik ( $S_{M1}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs. Dengan menggunakan parameter  $F_a$  dan  $F_v$  pada langkah 5 serta  $S_s$  dan  $S_I$ . Maka didapatkan :

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1,26 \times 0,667 = 0,852$$

$$S_{M1} = F_v \times S_I = 1,81 \times 0,295 = 0,534$$

#### 4.3.2.6. Menentukan Parameter Percepatan Spektrum Desain ( $S_{DS}$ dan $S_{D1}$ )

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,852 = 0,568$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,534 = 0,356$$

#### 4.3.2.7. Menentukan Kategori Desain Seismik

Berdasarkan tabel 6 dan tabel 7 pada SNI 1726 : 2012 serta menggunakan parameter yang telah ditentukan pada langkah sebelumnya maka gedung Apartemen Enviro Bekasi termasuk pada kategori desain seismik D. Pemilihan kategori desain tersebut diperlihatkan pada tabel 4.15 dan tabel 4.16.

**Tabel 4. 16** Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek

Nilai Sds	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$Sds < 0,167$	A	A
$0,167 \leq Sds < 0,33$	B	C
$0,33 \leq Sds < 0,50$	C	D
$0,50 \leq Sds$	D	D

**Tabel 4. 17** Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik

Nilai Sd1	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$Sd1 < 0,167$	A	A
$0,067 \leq Sd1 < 0,133$	B	C
$0,133 \leq Sd1 < 0,20$	C	D
$0,20 \leq Sd1$	D	D

#### 4.3.2.8. Menentukan Sistem Penahan Desain Seismik

Berdasarkan tabel 9 pada SNI 1726:2012 sistem struktur gedung Apartemen Enviro Bekasi akan menggunakan tipe C.5 yaitu sistem rangka pemikul momen khusus. Pemilihan sistem penahan gempa tersebut diperlihatkan pula pada Tabel 4.17.

**Tabel 4. 18** Penentuan Sistem Penahan Gaya Seismik

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, $R$	Faktor Kuat lebih sistem, $\Omega_0$	Faktor pembesaran defleksi, $C_d$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n$ (m)				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
C. Sistem rangka pemikul momen	7.1.1	7.1.2	7.1.3	7.1.4	7.1.5	7.1.6	7.1.7	7.1.8
5 Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5 ½	T B	T B	T B	T B	T B
6 Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4 ½	T B	T B	TI	TI	TI
7 Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2 ½	T B	TI	TI	TI	TI

Berdasarkan Tabel 4.17 didapatkan pula data tambahan untuk desain struktur yaitu :

$$R^a = 8 \quad (\text{Koefisien Modifikasi Respon})$$

$$\Omega_o^g = 3 \quad (\text{Faktor Kuat Lebih Sistem})$$

$$C_d^b = 5,5 \quad (\text{Faktor Pembesaran Defleksi})$$

#### 4.3.2.9. Faktor batas atas perioda hitung (Cu)

Faktor batas atas perioda ditentukan menggunakan SNI 1726:2012 tabel 14.

SD1	Cu
0,4	1,4
0,3	1,4

Untuk nilai  $S_{D1} = 0,356$  maka

$$Cu = 1,4 + \frac{(0,356 - 0,4) \times (1,4 - 1,4)}{(0,3 - 0,4)}$$

$$Cu = 1,4$$

#### 4.3.2.10. Menentukan Perkiraan Periode Alami Fundamental

Berdasarkan SNI 1726 : 2012 Pasal 7.8.2 penentuan perkiraan perioda alami fundamental ( $T_a$ ) harus ditentukan dari persamaan 26 pada SNI 1726 : 2012. Dengan parameter  $C_t$  dan  $x$  diambil dari tabel 15 SNI 1726 : 2012, serta  $h_n$  merupakan total tinggi bangunan.

$$\text{Periode fundamental pendekatan } T_a = C_t \times h_n^x$$

$$C_t = 0,0466$$

$$x = 0,9$$

$$H = 47,5 \text{ m}$$

$$\text{Maka } T_a = 0,0466 \times 47,5^{0,9} = 1,505$$

$$\text{Periode fundamental hasil dari ETABS, } T_c = 1,58$$

Periode fundamental struktur yang digunakan harus memenuhi syarat berikut :

- Jika  $T_c > C_u \cdot T_a$  maka  $T = C_u \cdot T_a$
- Jika  $T_a < T_c < T_u \cdot T_a$  maka  $T = T_c$
- Jika  $T_c < T_a$  maka  $T = T_a$

$$T_c = 1,542$$

$$C_u \cdot T_a = 1,4 \times 1,505 = 2,106$$

$$T_a < T_c < C_u.T_a$$

$$1,505 < 1,542 < 2,106, \text{ maka } T = T_c = 1,542$$

#### 4.3.2.11. Perhitungan Gaya Dasar Seismik (V)

Data desain :

$$S_{DS} = 0,568$$

$$S_{D1} = 0,356$$

Faktor reduksi gempa,  $R = 8$

Faktor keutamaan gempa,  $I_e = 1$

Menurut SNI 1726 : 2012 pasal 7.8.1.1 koefisien Respon Seismik ( $C_s$ ) ditentukan dengan perumusan berikut :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R/I_e} = \frac{0,568}{8/1} = 0,071$$

Dan  $C_s$  tidak lebih dari :

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,356}{1,542\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,029$$

Dan  $C_s$  tidak kurang dari :

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e = 0,025 \geq 0,01$$

Maka, nilai  $C_s$  diambil 0,025

Berdasarkan SNI 1726 : 2012 Pasal 7.8.1 penentuan gaya dasar seismik ( $V$ ) dihitung berdasarkan persamaan 21 pada SNI 1726 : 2012. Sebagaimana ditunjukkan pula pada rumus dibawah ini:

$$V = C_s \times W_t = 0,025 \times 17620080,25 = 440328,38 \text{ kg}$$

#### 4.3.2.12. Merencanakan Respon Spektrum

Kurva Respon Spektrum harus mengikuti ketentuan SNI 1726 : 2012 Pasal 6.4 dibawah ini :

$$T_0 = \frac{0,2 \times S_{DI}}{S_{DS}} = \frac{0,2 \times 0,356}{0,568} = 0,125 \text{ detik}$$

$$T_s = \frac{S_{DI}}{S_{DS}} = \frac{0,356}{0,568} = 0,627 \text{ detik}$$

Untuk perioda yang lebih kecil  $T_0$ , spektrum respon percepatan desain ( $S_a$ ), harus didesain dengan persamaan:

Untuk,  $T = 0 \rightarrow T < T_0$ , maka :

$$S_a = s_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) = 0,568 \left( 0,4 + 0,6 \frac{0}{0,125} \right) = 0,227$$

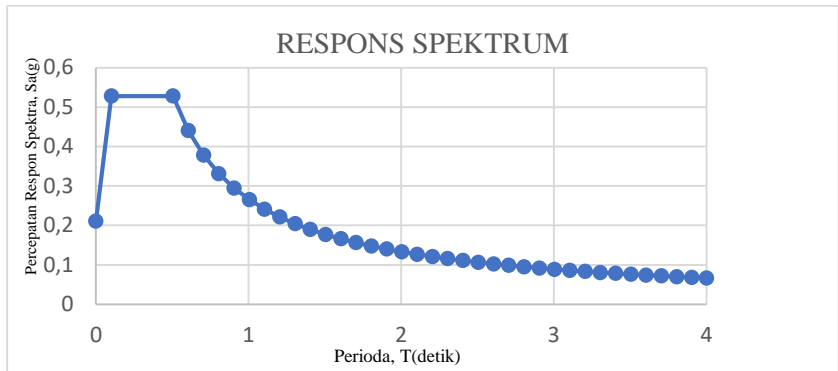
Perhitungan tersebut juga diperlihatkan pada Tabel 4.18 dengan interval data sebesar 0,1 detik.

**Tabel 4. 19** Perhitungan Spektrum Desain

T (Detik)	T (Detik)	Sa	T (Detik)	T (Detik)	Sa
0	0	0,227	TS+0,15	2,127	0,167
T0	0,125	0,568	TS+0,16	2,227	0,160
TS	0,627	0,568	TS+0,17	2,327	0,153
TS+0,1	0,727	0,490	TS+0,18	2,427	0,147
TS+0,2	0,827	0,431	TS+0,19	2,527	0,141
TS+0,3	0,927	0,384	TS+0,20	2,627	0,136
TS+0,4	1,027	0,347	TS+0,21	2,727	0,131
TS+0,5	1,127	0,316	TS+0,22	2,827	0,126
TS+0,6	1,227	0,290	TS+0,23	2,927	0,122
TS+0,7	1,327	0,268	TS+0,24	3,027	0,118
TS+0,8	1,427	0,249	TS+0,25	3,127	0,114
TS+0,9	1,527	0,233	TS+0,26	3,227	0,110
TS+0,10	1,627	0,219	TS+0,27	3,327	0,107
TS+0,11	1,727	0,206	TS+0,28	3,427	0,104
TS+0,12	1,827	0,195	TS+0,29	3,527	0,101
TS+0,13	1,927	0,185	TS+0,30	3,627	0,098



Dengan menggunakan interval perioda sebesar 0,1 detik didapatkan grafik respon spektrum desain seperti pada gambar 4.8.



**Gambar 4. 8** Grafik Respon Spektrum Desain

#### 4.3.3. Kontrol Desain

Setelah dilakukan pemodelan struktur 3 dimensi dengan program bantu ETABS, hasil analisis struktur harus dikontrol terhadap suatu batasan-batasan tertentu sesuai dengan peraturan SNI 1726:2012 untuk menentukan kelayakan sistem struktur tersebut. Adapun hal-hal yang harus dikontrol adalah sebagai berikut :

- Kontrol Partisipasi Massa
- Kontrol Periode Getar Struktur
- Kontrol Nilai Akhir Respon Spektrum
- Kontrol Batas Simpangan (*Drift*)

Dari analisis tersebut juga diambil gaya dalam yang terjadi pada masing-masing elemen struktur untuk dilakukan pengecekan kapasitas penampang.

##### 4.3.3.1. Kontrol Partisipasi Massa

Menurut SNI 1726:2012 pasal 7.9.1, bahwa perhitungan respon dinamik struktur harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90% dari massa

aktual dari masing-masing arah. Dalam hal ini digunakan bantuan program ETABS untuk mengeluarkan hasil partisipasi massa seperti pada tabel berikut :

**Tabel 4. 20** Hasil ETABS Partisipasi Massa

Case	Mode	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0,6486	0,000013
Modal	2	0,6486	0,7406
Modal	3	0,7428	0,7406
Modal	4	0,8304	0,7406
Modal	5	0,8308	0,8551
Modal	6	0,8562	0,8579
Modal	7	0,8791	0,8579
Modal	8	0,8921	0,8586
Modal	9	0,8924	0,8944
Modal	10	0,9184	0,8944
Modal	11	0,9195	0,9267
Modal	12	0,9282	0,9307
Modal	13	0,9377	0,9307
Modal	14	0,9377	0,9435
Modal	15	0,9417	0,9436

Dari tabel di atas, didapat partisipasi massa arah X sebesar 91,84% pada moda ke 10 dan partisipasi massa arah Y sebesar 92,67% pada moda ke 11. Maka dapat disimpulkan analisis struktur yang sudah dilakukan telah memenuhi syarat yang terdapat pada SNI 1726:2012 pasal 7.9.1 yaitu partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90%.

#### **4.3.3.2. Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental**

Untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental (T) dari struktur gedung harus dibatasi. Berdasarkan SNI 1726:2012, periode fundamental struktur harus ditentukan dari :

$$T_a = C_t \times h_n^x$$

Nilai T di atas adalah batas bawah periode struktur yang ditinjau. Untuk batas atas nya dikalikan dengan koefisien batas. Besarnya koefisien tersebut tergantung dari nilai  $SD_1$ .

Struktur gedung Apartemen Enviro Bekasi memiliki tinggi dari lantai dasar hingga atas gedung adalah 47,5 m. Pada struktur ini digunakan tipe struktur rangka beton pemikul momen sehingga pada Tabel 15 SNI 1726:2012 didapatkan nilai :

$$C_t = 0.0466^a$$

$$x = 0,9$$

$$h_n = 47,5 \text{ m}$$

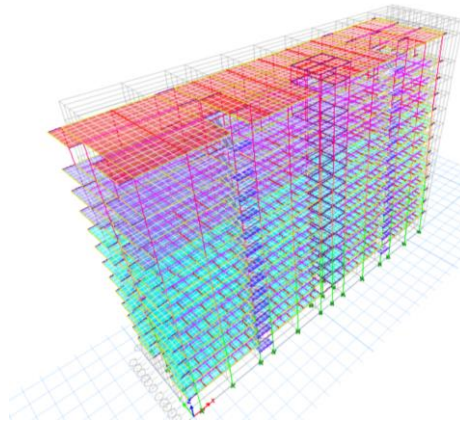
maka :

$$T_a = 0,0466 \times 47,5^{0,9} = 1,505 \text{ s}$$

Nilai  $C_u = 1,4$ , didapat dari Tabel 14 SNI 1726:2012, untuk  $SD_1 = 0,356$ , maka :

$$T = C_u \times T_a = 1,4 \times 1,505 = 2,106 \text{ s}$$

Dari hasil analisa ETABS didapat :



**Gambar 4. 9** Output ETABS nilai  $T_c$

Dari gambar di atas didapat  $T = 1,42 \text{ s}$ . maka berdasarkan kontrol waktu getar alami fundamental nilai  $T$  masih lebih kecil dari  $C_u \times T_a$ . Jadi analisis struktur gedung Apartemen Enviro Bekasi masih memenuhi syarat SNI 1726:2012 Pasal 7.8.2.

#### 4.3.3.3. Kontrol Nilai Akhir Respons Spektrum

Berdasarkan SNI 1726:2012, nilai akhir respon dinamik struktur gedung dalam arah yang ditetapkan tidak boleh kurang dari 85% nilai respons statik. Rumus gaya geser statik adalah :

$$V = C_s \times W \quad (\text{SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1})$$

Dari analisis yang sudah dilakukan, didapatkan nilai berat total struktur gedung ini adalah 17620080,25 kg

$$\begin{aligned} V_{\text{statik}} &= C_s \times W \\ &= 0,025 \times 17620080,25 \text{ kg} \\ &= 440328,38 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dari hasil analisis menggunakan program ETABS didapatkan nilai gaya geser dasar (*base shear*) sebagai berikut :

Beban Gempa	Global FX	Global FY
	Kgf	Kgf
Gempa X	395462,89	1723,09
Gempa Y	1546,68	397914,19

Kontrol :

- Gempa Arah X
 
$$\begin{aligned} V_{\text{dinamik}} &\geq 85\% V_{\text{statik}} \\ 395462,89 \text{ kg} &\geq 85\% 440328,38 \text{ kg} \\ 395462,89 \text{ kg} &\geq 374279,12 \text{ kg (OK)} \end{aligned}$$
- Gempa Arah Y
 
$$\begin{aligned} V_{\text{dinamik}} &\geq 85\% V_{\text{statik}} \\ 397914,19 \text{ kg} &\geq 85\% 440328,38 \text{ kg} \\ 397914,19 \text{ kg} &\geq 374279,12 \text{ kg (OK)} \end{aligned}$$

Dari kontrol di atas dapat disimpulkan bahwa analisis struktur gedung ini masih memenuhi persyaratan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.

#### 4.3.3.4. Kontrol Batas Simpangan Antar Lantai (*Drift*)

Pembatasan simpangan antar lantai suatu struktur bertujuan untuk mencegah kerusakan non-struktur dan

ketidaknyamanan penghuni Untuk sistem rangka beton bertulang pemikul momen khusus, dari tabel 9 SNI 1726:2012 didapatkan nilai  $C_d = 5,5$  dan dari tabel 2 SNI 1726:2012 didapatkan nilai  $I = 1$ . Dari tabel 16 SNI 1726:2012 untuk sistem struktur yang lain simpangan antar lantai ijinnya adalah :

$$\Delta_a = 0,020 \times h_{sx}$$

Dimana :

$h_{sx}$  = tinggi tingkat dibawah tingkat x

untuk tinggi tingkat 3,2 m, simpangan ijinnya adalah :

$$\begin{aligned}\Delta_a &= 0,02 \times 3,2 \text{ m} \\ &= 0,064 \text{ m}\end{aligned}$$

Dari analisis akibat beban lateral (beban gempa) dengan program ETABS, diperoleh nilai simpangan yang terjadi pada struktur yaitu sebagai berikut :

**Tabel 4. 21** Kontrol Kinerja Batas Struktur Akibat Beban Gempa Arah X

Story	Drift	$\Delta$	$\Delta.C_d/I_e$	$h$	$\Delta_{izin}$	CEK
	mm		mm	m	mm	
ROOFTOP	23,14	-0,318	-1,749	2,3	46	OKE
15TH	23,458	1,163	6,396	5	100	OKE
12.aTH	22,295	0,947	5,209	3,2	64	OKE
12TH	21,348	1,304	7,172	3,2	64	OKE
11TH	20,044	1,651	9,081	3,2	64	OKE
10TH	18,393	1,619	8,905	3,2	64	OKE
9TH	16,774	1,833	10,082	3,2	64	OKE
8TH	14,941	2,047	11,259	3,2	64	OKE
7TH	12,894	2,228	12,254	3,2	64	OKE
6TH	10,666	2,347	12,909	3,2	64	OKE
5TH	8,319	2,231	12,271	3,2	64	OKE
4TH	6,088	2,198	12,089	3,2	64	OKE
3RD	3,89	1,775	9,763	3,2	64	OKE
2ND	2,115	2,115	11,633	3,2	64	OKE
BASE	0	0,000	0,000	5	100	OKE

**Tabel 4. 22** Kontrol Kinerja Batas Struktur Akibat Beban Gempa Arah Y

Story	Drift	$\Delta$	$\Delta.Cd/Ie$	<b>h</b>	$\Delta_{izin}$	CEK
	mm		mm	m	mm	
ROOFTOP	23,797	0,438	2,409	2,3	46	OKE
15TH	23,359	1,362	7,491	5	100	OKE
12.aTH	21,997	1,045	5,747	3,2	64	OKE
12TH	20,952	1,366	7,513	3,2	64	OKE
11TH	19,586	1,676	9,218	3,2	64	OKE
10TH	17,91	1,639	9,015	3,2	64	OKE
9TH	16,271	1,830	10,065	3,2	64	OKE
8TH	14,441	2,016	11,088	3,2	64	OKE
7TH	12,425	2,171	11,941	3,2	64	OKE
6TH	10,254	2,260	12,430	3,2	64	OKE
5TH	7,994	2,141	11,776	3,2	64	OKE
4TH	5,853	2,106	11,583	3,2	64	OKE
3RD	3,747	1,648	9,064	3,2	64	OKE
2ND	2,099	2,099	11,545	3,2	64	OKE
BASE	0	0,000	0,000	5	100	OKE

Dari hasil kontrol pada tabel di atas, maka analisis struktur gedung ini sudah memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI 1726:2012 pasal 7.9.3 dan pasal 7.12.1

#### **4.4. Perencanaan Struktur Sekunder**

##### **4.4.1. Perencanaan Pelat**

##### **4.4.1.1. Data Perencanaan Pelat**

Tipe Pelat	: Tipe A2
Kuat tekan beton	: 25 Mpa
Kuat leleh tulangan (fy)	: 400 Mpa
Rencana tebal pelat	: 11 cm
Bentang pelat sumbu panjang (Ly)	: 300 cm
Bentang pelat sumbu pendek (Lx)	: 265 cm
Balok kanan (BI1)	: 45/55 cm
Balok kiri (BA2)	: 25/30 cm

Balok atas (BI1)	: 45/55 cm
Balok bawah (BP)	: 45/65 cm

#### 4.4.1.2. Pembebanan Pelat

##### 4.5.2.1. Pelat Lantai Apartemen

Beban yang bekerja pada pelat lantai terdiri dari 2 jenis beban, yaitu beban mati ( $q_D$ ) dan beban hidup ( $q_L$ ). Pembebanan yang terjadi dapat dilihat pada tabel berikut:

##### a. Beban mati

Berdasarkan SNI 1727: 2013

**Tabel 4. 23** Beban mati pada pelat lantai apartemen

Nama	Keterangan	Beban
Berat pelat	0,11m x 2400 kg/m <sup>3</sup>	264 kg/m <sup>2</sup>
Pengantung	8 kg/m <sup>2</sup>	8 kg/m <sup>2</sup>
Plafond	1,49 kg/m <sup>2</sup>	1,49 kg/m <sup>2</sup>
Spesi (2cm)	2 x 21 kg/m <sup>2</sup>	42 kg/m <sup>2</sup>
Keramik (1cm)	1 x 16,5 kg/m <sup>2</sup>	16,5 kg/m <sup>2</sup>
Instalasi air	25 kg/m <sup>2</sup>	25 kg/m <sup>2</sup>
Instalasi listrik	40 kg/m <sup>2</sup>	40 kg/m <sup>2</sup>
Berat Total		397 kg/m <sup>2</sup>

##### b. Beban hidup pada pelat lantai

Berdasarkan SNI 1727: 2013 beban hidup untuk pelat lantai apartemen sebesar 192 kg/m<sup>2</sup>

$$\begin{aligned}
 Q_u &= 1,2Q_D + 1,6Q_L \\
 &= (1,2 \times 397 \text{ kg/m}^2) + (1,6 \times 192 \text{ kg/m}^2) \\
 &= 783,588 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

#### 4.5.2.2. Pelat Lantai Hall

Beban yang bekerja pada pelat lantai terdiri dari 2 jenis beban, yaitu beban mati ( $q_D$ ) dan beban hidup ( $q_L$ ). Pembebanan yang terjadi dapat dilihat pada tabel berikut:

##### a. Beban mati

Berdasarkan SNI 1727: 2013

**Tabel 4. 24** Beban mati pada pelat lantai hall

Nama	Keterangan	Beban
Berat pelat	0,11m x 2400 kg/m <sup>3</sup>	264 kg/m <sup>2</sup>
Pengantung	8 kg/m <sup>2</sup>	8 kg/m <sup>2</sup>
Plafond	1,49 kg/m <sup>2</sup>	1,49 kg/m <sup>2</sup>
Spesi (2cm)	2 x 21 kg/m <sup>2</sup>	42 kg/m <sup>2</sup>
Keramik (1cm)	1 x 16,5 kg/m <sup>2</sup>	16,5 kg/m <sup>2</sup>
Instalasi air	25 kg/m <sup>2</sup>	25 kg/m <sup>2</sup>
Instalasi listrik	40 kg/m <sup>2</sup>	40 kg/m <sup>2</sup>
Berat Total		397 kg/m <sup>2</sup>

##### b. Beban hidup pada pelat lantai

Berdasarkan SNI 1727: 2013 beban hidup untuk pelat lantai hall sebesar 479 kg/m<sup>2</sup>

$$\begin{aligned}
 Q_u &= 1,2Q_D + 1,6Q_L \\
 &= (1,2 \times 397 \text{ kg/m}^2) + (1,6 \times 479 \text{ kg/m}^2) \\
 &= 1242,788 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

#### 4.5.2.3. Pelat Atap

Beban yang bekerja pada pelat lantai terdiri dari 2 jenis beban, yaitu beban mati ( $q_D$ ) dan beban hidup ( $q_L$ ). Pembebanan yang terjadi dapat dilihat pada tabel berikut:

##### a. Beban mati

Berdasarkan SNI 1727: 2013



**Tabel 4. 25** Beban mati pada pelat lantai atap

Nama	Keterangan	Beban
Berat pelat	0,11m x 2400 kg/m <sup>3</sup>	264 kg/m <sup>2</sup>
Pengantung	8 kg/m <sup>2</sup>	8 kg/m <sup>2</sup>
Plafond	1,49 kg/m <sup>2</sup>	1,49 kg/m <sup>2</sup>
Aspal (2cm)	2 x 14 kg/m <sup>2</sup>	28 kg/m <sup>2</sup>
Instalasi air	25 kg/m <sup>2</sup>	25 kg/m <sup>2</sup>
Instalasi listrik	40 kg/m <sup>2</sup>	40 kg/m <sup>2</sup>
Berat Total		366,5 kg/m <sup>2</sup>

b. Beban hidup pada pelat atap

Berdasarkan SNI 1727: 2013 beban hidup untuk pelat atap sebesar 96 kg/m<sup>2</sup>

$$\begin{aligned}
 Q_u &= 1,2Q_D + 1,6Q_L \\
 &= (1,2 \times 366,5 \text{ kg/m}^2) + (1,6 \times 96 \text{ kg/m}^2) \\
 &= 593,39 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

#### 4.4.2.1. Penulangan Pelat

Perencanaan pelat pada Apartemen Enviro Bekasi berdasarkan gaya yang bekerja dibedakan menjadi 2 jenis. Dalam design, gaya-gaya pada pelat bekerja menurut aksi satu arah dan dua arah. Jika perbandingan dari bentang panjang ( $L_y$ ) terhadap bentang pendek ( $L_x$ ) besarnya 2 kali lebar atau lebih, maka semua beban lantai menuju balok-balok sebagian kecil akan menyalur secara langsung ke gelagar. Sehingga pelat dapat direncanakan sebagai **pelat satu arah (*one way slab*)**, dengan tulangan utama yang sejajar dengan gelagar.

Sedangkan bila perbandingan dari bentang panjang ( $L_y$ ) terhadap bentang pendek ( $L_x$ ) besarnya lebih dari 2, maka seluruh beban lantai menyebabkan permukaan lendutan pelat mempunyai kelengkungan ganda. Beban lantai dipikul dalam kedua arah oleh empat balok pendukung disekelilingnya, dengan demikian, panel disebut **pelat 2 arah (*two way slab*)**, dengan tulangan utama dipasang 2 arah yaitu searah sumbu x dan searah sumbu y, sedangkan tulangan susut dan suhu dipasang mengitari

pelat tersebut. (*Desain Beton Bertulang, oleh C.K.Wang dan C.G.Salmon Bab 16*).

Pelat direncanakan menerima beban berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983) berdasarkan fungsi tiap lantai, kombinasi pembebanan yang digunakan adalah :

$$U = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

Tipe Pelat	Momen	lx / ly																	
		1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	>2.5	
I	$M_{lx} = +0.001 \times q \times L_x^2$	44	52	59	66	73	78	84	88	93	97	100	103	106	108	110	112	120	
	$M_{ly} = +0.001 \times q \times L_y^2$	44	43	43	43	43	43	43	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	
II	$M_{lx} = -0.001 \times q \times L_x^2$	51	53	55	57	59	61	63	65	67	69	71	73	75	77	79	81	83	
	$M_{ly} = -0.001 \times q \times L_y^2$	51	51	50	49	48	47	46	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	
	$M_{lx} = +0.001 \times q \times L_x^2$	52	59	64	69	73	76	79	81	82	83	83	83	83	83	83	83	83	
	$M_{ly} = +0.001 \times q \times L_y^2$	52	54	56	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	
III	$M_{lx} = -0.001 \times q \times L_x^2$	58	58	58	57	56	55	53	53	52	51	50	49	48	47	46	45	44	
	$M_{ly} = -0.001 \times q \times L_y^2$	58	58	58	57	56	55	53	53	52	51	50	49	48	47	46	45	44	
	$M_{lx} = +0.001 \times q \times L_x^2$	68	72	74	76	77	77	77	76	75	74	73	72	71	70	69	68	67	
	$M_{ly} = +0.001 \times q \times L_y^2$	68	68	68	67	66	65	64	63	62	61	60	59	58	57	56	55	54	
IVA	$M_{lx} = -0.001 \times q \times L_x^2$	70	74	77	79	81	82	83	84	84	84	84	84	84	83	83	83	83	
	$M_{ly} = -0.001 \times q \times L_y^2$	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	
	$M_{lx} = +0.001 \times q \times L_x^2$	70	79	87	94	100	105	109	112	113	117	119	120	121	122	123	123	123	
	$M_{ly} = +0.001 \times q \times L_y^2$	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	
IVB	$M_{lx} = -0.001 \times q \times L_x^2$	74	77	79	81	82	83	84	84	84	84	84	84	84	83	83	83	83	
	$M_{ly} = -0.001 \times q \times L_y^2$	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	
	$M_{lx} = +0.001 \times q \times L_x^2$	74	83	93	100	106	111	114	117	119	120	121	122	123	123	124	124	124	
	$M_{ly} = +0.001 \times q \times L_y^2$	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	
VA	$M_{lx} = -0.001 \times q \times L_x^2$	84	92	99	104	109	112	115	117	119	121	122	123	123	124	124	124	124	
	$M_{ly} = -0.001 \times q \times L_y^2$	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	
	$M_{lx} = +0.001 \times q \times L_x^2$	84	92	99	104	109	112	115	117	119	121	122	123	123	124	124	124	124	
	$M_{ly} = +0.001 \times q \times L_y^2$	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	
VB	$M_{lx} = -0.001 \times q \times L_x^2$	92	98	103	108	111	114	117	119	120	121	122	123	123	124	124	124	124	
	$M_{ly} = -0.001 \times q \times L_y^2$	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	
	$M_{lx} = +0.001 \times q \times L_x^2$	92	98	103	108	111	114	117	119	120	121	122	123	123	124	124	124	124	
	$M_{ly} = +0.001 \times q \times L_y^2$	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	
VIA	$M_{lx} = -0.001 \times q \times L_x^2$	100	106	111	115	118	121	123	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	
	$M_{ly} = -0.001 \times q \times L_y^2$	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	$M_{lx} = +0.001 \times q \times L_x^2$	100	106	111	115	118	121	123	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	
	$M_{ly} = +0.001 \times q \times L_y^2$	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
VIB	$M_{lx} = -0.001 \times q \times L_x^2$	110	116	121	125	128	131	133	135	137	139	140	141	142	143	144	145	146	
	$M_{ly} = -0.001 \times q \times L_y^2$	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	
	$M_{lx} = +0.001 \times q \times L_x^2$	110	116	121	125	128	131	133	135	137	139	140	141	142	143	144	145	146	
	$M_{ly} = +0.001 \times q \times L_y^2$	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	
Keterangan		* Tahanan bebas * Tumpuan penuh																	

**Gambar 4. 10** Daftar Momen Pelat  
sumber : PBBI 1971 tabel 13.3. (1)

Dikarenakan pelat yang direncanakan terjepit penuh oleh balok pada keempat sisinya, sehingga pada PBBI 1971 psl. 13.3 tabel 13.3.(1) pelat termasuk dalam tipe II, yakni sebagai berikut :

$$M_{tx} = -0,001 \times q \times L_x^2 \times X$$

$$M_{lx} = +0,001 \times q \times L_x^2 \times X$$

$$M_{ty} = -0,001 \times q \times L_y^2 \times X$$

$$M_{ly} = +0,001 \times q \times L_y^2 \times X$$

Dimana:

$M_{tx}$  = Momen tumpuan arah x

$M_{lx}$  = Momen lapangan arah x

$M_{ty}$  = Momen tumpuan arah y

$M_{ly}$  = Momen lapangan arah y

## a. Penulangan Pelat Lantai

## Data Perencanaan

Tipe Pelat	: C2
Mutu beton ( $f_c'$ )	: 25 Mpa
Mutu baja ( $f_y$ )	: 400 Mpa
$\beta_1$	: 0,85
b	: 1000 mm
Decking	: 20 mm
Tebal pelat (h)	: 110 mm
Bentang pelat sumbu panjang	: 6000 mm
Bentang pelat sumbu pendek	: 5150 mm
D tulangan	: 10 mm
D tulangan susut	: 8 mm

- Rasio sumbu panjang dan sumbu pendek bentang pelat:

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{6000 \text{ mm}}{5150 \text{ mm}} = 1,2 \text{ (Two way slab)}$$

Perhitungan momen-momen pelat menggunakan tabel 13.3.1 PBBI 1971, maka didapatkan nilai x sebagai berikut :

- Lapangan x = 28
- Lapangan y = 20
- Tumpuan x = 64
- Tumpuan y = 56

Sehingga :

$$\begin{aligned} M_{lx} &= 0,001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot x \\ &= 0,001 \cdot 593.388 \text{ kg/m}^2 \cdot (5,15 \text{ m})^2 \cdot 28 \\ &= 440,67 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ly} &= 0,001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot x \\ &= 0,001 \cdot 593.388 \text{ kg/m}^2 \cdot (6 \text{ m})^2 \cdot 20 \\ &= 314,76 \text{ kgm} \end{aligned}$$

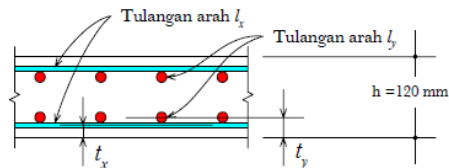
$$\begin{aligned} M_{tx} &= 0,001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot x \\ &= 0,001 \cdot 593.388 \text{ kg/m}^2 \cdot (5,15 \text{ m})^2 \cdot 64 \\ &= 1007,24 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{ty} &= 0,001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot x \\
 &= 0,001 \cdot 593.388 \text{ kg/m}^2 \cdot (6 \text{ m})^2 \cdot 56 \\
 &= 881,34 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

- Tebal manfaat pelat

$$\begin{aligned}
 dx &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - \frac{1}{2} \cdot D \\
 &= 110 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \cdot 10 \text{ mm}) \\
 &= 85 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 dy &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - \emptyset - \frac{1}{2} \cdot D \\
 &= 110 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 12 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \cdot 10 \text{ mm}) \\
 &= 75 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



**Tabel 4. 26** Potongan Pelat

- Rasio tulangan

$$\rho_{\min} = 0,002 \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 14.3.3(a)})$$

$$\rho_{\max} = 0,025 \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1})$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 11,29$$

- Tulangan Lapangan Arah X

$$M_{lx} = 440,7 \text{ kgm} = 4406677 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_u}{\emptyset \times b \times d^2} = \frac{4406677}{0,9 \times 1000 \times 85^2} \\
 &= 0,678 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{11,29} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,29 \times 0,678}{400}} \right] \\
 &= 0,00171
 \end{aligned}$$

Kontrol syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,002 > 0,00171 < 0,025 \rightarrow (\text{Tidak memenuhi})$$

Maka luasan tulangan perlu

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,002$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$A_s = 0,002 \times 1000 \times 85$$

$$= 170 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi antar tulangan :

$$S_{\text{maks}} = 3h \text{ atau } 450 \text{ mm}$$

(SNI 2847:2013 pasal 10.5.4)

$$S_{\text{maks}} = 3 (110 \text{ mm}) = 330 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}$$

Direncanakan tulangan dengan  $\emptyset = 10 \text{ mm}$

$$s = \frac{0,25 \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{A_s}$$

$$s = \frac{0,25 \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 1000}{170 \text{ mm}^2}$$

$$= 462 \text{ mm}$$

Kontrol syarat :

$$S < S_{\text{maks}}$$

$$462 \text{ mm} > 330 \text{ mm atau } 450 \text{ mm} \rightarrow (\text{Tidak Memenuhi})$$

Maka, digunakan  $S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$

Tulangan pakai D10 – 200 mm

$$A_s = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$= \frac{0,25 \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 1000}{200 \text{ mm}^2}$$

$$= 393 \text{ mm}^2$$

Kontrol syarat :

$$A_{s \text{ pakai}} > A_{s \text{ perlu}}$$

$$393 \text{ mm}^2 > 89,4 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- Kontrol Regangan :

Tinggi balok tegangan persegi ekuivalen

$$a = \frac{A_{s\text{ pakai}} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{393 \times 400}{0,85 \times 25 \times 1000} = 7,392$$

Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{\alpha}{\beta_1} = \frac{7,392}{0,85} = 8,696 \text{ mm}$$

$\epsilon_o = 0,003$  berdasarkan SNI 2847 : 2013 pasal 10.2.3

Regangan tarik netto

$$\epsilon_t = \frac{\epsilon_o \times (d_x - c)}{c} = \frac{0,003 \times (85 - 8,696)}{8,696} = 0,026 > 0,005 \quad (\text{OKE})$$

(SNI 2837:2013 pasal 10.3.4)

- Tulangan Lapangan Arah Y

$$M_{lx} = 314,8 \text{ kgm} = 3147627 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{147627}{0,9 \times 1000 \times 75^2} = 0,622 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{11,29} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,29 \times 0,622}{400}} \right] \\ &= 0,00157 \end{aligned}$$

Kontrol syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,002 > 0,00157 < 0,025 \rightarrow (\text{Tidak memenuhi})$$

Maka luasan tulangan perlu

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,002$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$A_s = 0,002 \times 1000 \times 75 = 150 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi antar tulangan :

S maks = 3h atau 450 mm

(SNI 2847:2013 pasal 10.5.4)

S maks = 3 (110 mm) = 330 mm atau 450 mm

Direncanakan tulangan dengan D=10mm

$$s = \frac{0,25 \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{A_s}$$

$$s = \frac{0,25 \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 1000}{150 \text{ mm}^2}$$

$$= 524 \text{ mm}$$

Kontrol syarat :

S < S maks

542 mm > 330mm atau 450mm → (Tidak Memenuhi)

Maka, digunakan S pakai = 200mm

Tulangan pakai D10 – 200 mm

$$A_s = \frac{0,25 \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$= \frac{0,25 \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 1000}{200 \text{ mm}^2}$$

$$= 393 \text{ mm}^2$$

Kontrol syarat :

A<sub>s</sub> pakai > A<sub>s</sub> perlu

393 mm<sup>2</sup> > 150 mm<sup>2</sup> → (Memenuhi)

○ Kontrol Regangan :

Tinggi balok tegangan persegi ekuivalen

$$a = \frac{A_{s_{\text{pakai}}} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{393 \times 400}{0,85 \times 25 \times 1000} = 7,392$$

Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{\alpha}{\beta_1} = \frac{7,392}{0,85} = 8,696 \text{ mm}$$

Regangan tarik

$\epsilon_o = 0,003$  berdasarkan SNI 2847 : 2013 pasal 10.2.3

Regangan tarik netto

$$\epsilon_t = \frac{\epsilon_o \times (d_x - c)}{c} = \frac{0,003 \times (75 - 8,696)}{8,696} = 0,023 > 0,005 \quad (\text{OKE})$$

*(SNI 2837:2013 pasal 10.3.4)*

○ Tulangan Tumpuan Arah X

$$M_{lx} = 1007,2 \text{ kgm} = 10072405 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{10072405}{1000 \times 85^2} = 1,549 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{11,29} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,29 \times 1,549}{400}} \right] \\ &= 0,00396 \end{aligned}$$

Kontrol syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,002 > 0,00396 < 0,025 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

Maka luasan tulangan perlu:

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,00396$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$\begin{aligned} A_s &= 0,00396 \times 1000 \times 85 \\ &= 337 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$



Syarat spasi antar tulangan :

S maks = 3h atau 450 mm

(SNI 2847:2013 pasal 10.5.4)

S maks = 3 (110 mm) = 330 mm atau 450 mm

Direncanakan tulangan dengan D=10mm

$$s = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{A_s}$$

$$s = \frac{0,25 \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 1000}{170 \text{ mm}^2}$$

$$= 462 \text{ mm}$$

Kontrol syarat :

S < S maks

524 mm > 330 mm atau 450 mm

→ (Tidak Memenuhi)

Maka, S pakai = 200 mm

Tulangan pakai D10 – 200 mm

$$A_s = \frac{0,25 \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{S_{pakai}}$$

$$= \frac{0,25 \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 1000}{200 \text{ mm}^2}$$

$$= 393 \text{ mm}^2$$

Kontrol syarat :

A<sub>s</sub> pakai > A<sub>s</sub> perlu

393 mm<sup>2</sup> > 337 mm<sup>2</sup> → (Memenuhi)

○ Kontrol Regangan :

Tinggi balok tegangan persegi ekuivalen

$$a = \frac{A_{s_{pakai}} \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{393 \times 400}{0,85 \times 25 \times 1000} = 7,392$$

Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{\alpha}{\beta_1} = \frac{7,392}{0,85} = 8,696 \text{ mm}$$

Regangan tarik

$\epsilon_o = 0,003$  berdasarkan SNI 2847 : 2013 pasal 10.2.3

Regangan tarik netto

$$\epsilon_t = \frac{\epsilon_o \times (d_x - c)}{c} = \frac{0,003 \times (85 - 8,696)}{8,696} = 0,026 > 0,005 \quad (\text{OKE})$$

*(SNI 2837:2013 pasal 10.3.4)*

○ Tulangan Tumpuan Arah Y

$$M_{lx} = 881,3 \text{ kgm} = 8813355 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{8813355}{1000 \times 85^2}$$

$$= 1,741 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{11,29} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,29 \times 1,741}{0,85 \cdot 25}} \right]$$

$$= 0,00446$$

Kontrol syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,002 > 0,00446 < 0,025 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

Maka luasan tulangan perlu:

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,00446$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$A_s = 0,00446 \times 1000 \times 75$$

$$= 335 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi antar tulangan :

$$S_{\text{maks}} = 3h \text{ atau } 450 \text{ mm}$$

*(SNI 2847:2013 pasal 10.5.4)*

$$S_{\text{maks}} = 3 (110 \text{ mm}) = 330 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}$$

Direncanakan tulangan dengan  $D=10\text{mm}$

$$s = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{A_s}$$

$$s = \frac{0,25 \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 1000}{150 \text{ mm}^2}$$

$$= 524 \text{ mm}$$

Kontrol syarat :

$$S < S_{\text{maks}}$$

$524 \text{ mm} > 330 \text{ mm}$  atau  $450 \text{ mm} \rightarrow (\text{Tidak Memenuhi})$

Maka, digunakan  $S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$

Tulangan pakai  $D10 - 200 \text{ mm}$

$$A_s = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$= \frac{0,25 \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 1000}{200 \text{ mm}^2}$$

$$= 393 \text{ mm}^2$$

Kontrol syarat :

$A_s_{\text{pakai}} > A_s_{\text{perlu}}$

$393 \text{ mm}^2 > 335 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$

#### ○ Kontrol Regangan

Tinggi balok tegangan persegi ekuivalen

$$a = \frac{A_{s_{\text{pakai}}} \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{393 \times 400}{0,85 \times 25 \times 1000} = 7,392$$

Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{\alpha}{\beta_1} = \frac{7,392}{0,85} = 8,696 \text{ mm}$$

Regangan tarik

$\epsilon_o = 0,003$  berdasarkan SNI 2847 : 2013 pasal 10.2.3

Regangan tarik netto

$$\epsilon_t = \frac{\epsilon_0 \times (d_x - c)}{c} = \frac{0,003 \times (85 - 8,696)}{8,696} = 0,023 > 0,005 \quad (\text{OKE})$$

(SNI 2837:2013 pasal 10.3.4)

○ Tulangan Susut

Menurut (SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1):

$$\rho_{\min} = 0,0018$$

As Susut =  $\rho_{\text{susut}} \times b \times \text{tebal pelat}$

$$\begin{aligned} A_s &= 0,002 \times 1000 \times 110 \text{ mm} \\ &= 152 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol syarat :

$$S_{\text{maks}} \leq 3h \text{ atau } 450 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} = 3(110 \text{ mm}) = 330 \text{ mm}$$

Direncanakan tulangan dengan  $\emptyset = 8 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} s &= \frac{0,25 \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{A_s} \\ s &= \frac{0,25 \times \pi \times (8 \text{ mm})^2 \times 1000}{152 \text{ mm}^2} \\ &= 251,327 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol syarat :

$$S < S_{\text{maks}}$$

$$251,327 \text{ mm} < 330 \text{ mm atau } 450 \text{ mm} \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

Maka digunakan S pakai = 200 mm

Tulangan pakai  $\emptyset 8 - 200 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{0,25 \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times (8 \text{ mm})^2 \times 1000}{200 \text{ mm}^2} \\ &= 251 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol syarat :

As pakai > As perlu

$$251 \text{ mm}^2 > 152 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

Kontrol Lendutan

Berdasarkan SNI 2847 : 2013 pasal 9.5.3.1 tabel 9.5.(b), lendutan maksimum untuk lantai apartemen adalah  $L/360$ .

$$\delta_{izin} = \frac{L}{360} = \frac{3000}{180} = 7,36 \text{ mm}$$

$$Q_u = 801,6 \text{ kg/m}^2$$

$$M_a = 687,84 \text{ kgm} = 6878433,41 \text{ Nmm}$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'c} = 4700 \sqrt{25} = 23500 \text{ N/mm}^2$$

$$I = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} \times 1000 \times 110^3 = 110916666,7 \text{ mm}^4$$

$$y_t = \frac{h}{2} = \frac{110 \text{ mm}}{2} = 55 \text{ mm}$$

$$f_r = 0.062 \lambda \sqrt{f_c} = 0.062 \sqrt{25} = 0,310$$

$$M_{cr} = \frac{f_r x I_g}{y_t} = \frac{0.310 \times 110916666,7 \text{ mm}^4}{55 \text{ mm}} = 815011,2 \text{ Nmm}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{23500} = 8,51$$

$$c = n \times \frac{A_s}{b} = 8,511 \times \frac{393}{100} = 3,34 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{cr} &= 1/3 b c^3 + n \cdot A_s^2 \\ &= 1/3 \times 1000 \text{ mm} \times (3,34 \text{ mm})^3 + 8,51 \times (393 \text{ mm})^2 \\ &= 22297730,07 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$I_e = \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \times I_g + \left[ 1 - \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] \times I_{cr}$$

$$\begin{aligned} I_e &= \left( \frac{815011,2}{6878433,41} \right)^3 \times 110916666,7 \\ &\quad + \left[ 1 - \left( \frac{815011,2}{6878433,41} \right)^3 \right] \times 22297730,07 \end{aligned}$$

$$I_e = 22364264,3 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned}
 I_e &< I \\
 22364264,3 \text{ mm}^4 &< 110916666,7 \text{ mm}^4 \\
 \text{(SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.3)} \\
 \zeta &= 2 \\
 \rho &= \frac{As}{b \times d} = \frac{393}{1000 \times 0.85} = 0,0046 \\
 \lambda &= \frac{\zeta}{1 + (50 + \rho)} = \frac{2}{1 + (50 + 0,0046)} = 1,625 \\
 \delta_e &= \frac{5}{384} \frac{Q_u \times L^4}{EI} = \frac{5}{384} \times \frac{7835880 \times 2650^4}{23500 \times 22297730,07} \\
 &= 0,096 \text{ mm} \\
 \delta_g &= \frac{5}{384} \frac{Q_u \times L^4}{EI} \lambda = \frac{5}{384} \times \frac{7835880 \times 2650^4}{23500 \times 22297730,07} \times 1,625 \\
 &= 0,156 \text{ mm} \\
 \delta_{\text{tot}} &= \delta_e + \delta_g = 0,096 \text{ mm} + 0,156 \text{ mm} = 0,252 \text{ mm} \\
 \delta &\leq \delta_{\text{izin}} \\
 0.252 \text{ mm} &\leq 6,597 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

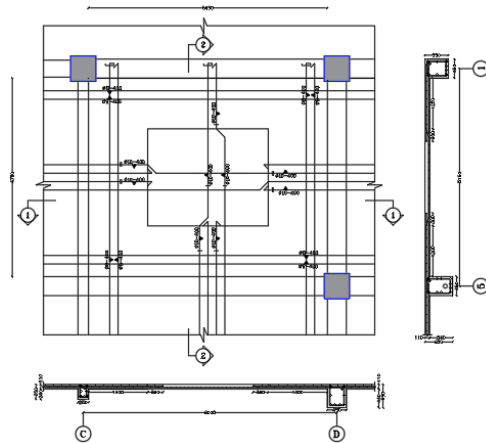
#### ❖ Kesimpulan

**Tabel 4. 27** Kesimpulan penulangan pelat lantai

Tulangan Utama	Diameter (mm)	Jarak (mm)
Tumpuan arah X	D10	- 200
Tumpuan arah Y	D10	- 200
Lapangan arah X	D10	- 200
Lapangan arah Y	D10	- 200

Tulangan Susut	Diameter (mm)	Jarak (mm)
Tumpuan Arah X	Ø 8	- 200
Tumpuan Arah Y	Ø 8	- 200

- Jadi tulangan tersebut dipasang pada lapis atas dan bawah, masing-masing pada ujung kiri dan kanan tumpuan, baik pada arah bentang  $l_x$  maupun  $l_y$ .



**Gambar 4. 11** Tampak Atas Penulangan Pelat

**Tabel 4. 28** Rekapitulasi Penulangan Pelat

No	Lantai	Type Pelat	Ly m	Lx m	Arah	Tulangan			
						Lap. X	Lap. Y	Tum. X	Tum. Y
1	Lt. 2 - 12a	A1	1,5	1,5	dua arah	D10-200	D10-200	D10-200	D10-200
		B1	3	2,65	dua arah	D10-200	D10-200	D10-200	D10-200
		C1	1,5	1	dua arah	D10-200	D10-200	D10-200	D10-200
		D1	6	1,9	satu arah	D10-200		D10-200	
		E1	3	1,15	satu arah	D10-200		D10-200	
		F1	1,75	1,5	dua arah	D10-200	D10-200	D10-200	D10-200
		G1	3,25	2,65	dua arah	D10-200	D10-200	D10-200	D10-200
		H1	1,75	1	dua arah	D10-200		D10-200	
		I1	6,5	1,9	satu arah	D10-200		D10-200	
		J1	3,25	1,35	satu arah	D10-200		D10-200	
		K1	3,25	2,6	dua arah	D10-200	D10-200	D10-200	D10-200
		L1	5,15	1,5	satu arah	D10-200		D10-200	
		M1	3	1,5	satu arah	D10-200		D10-200	
		N1	3	1,3	satu arah	D10-200		D10-200	
		O1	3	2,35	dua arah	D10-200	D10-200	D10-200	D10-200
		P1	1,75	1,75	dua arah	D10-200	D10-200	D10-200	D10-200
		Q1	1,3	1,75	dua arah	D10-200	D10-200	D10-200	D10-200
		R1	3,25	2,35	dua arah	D10-200	D10-200	D10-200	D10-200

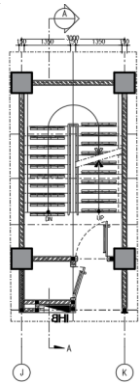
No	Lantai	Tipe Pelat	Ly	Lx	Arah	Tulangan			
			m	m		Lap. X	Lap. Y	Tum. X	Tum. Y
2	Lt. Atap	A2	6	5,15	dua arah	D10-200	D10-200	D10-200	D10-200
		B2	6	4,9	dua arah	D10-200	D10-200	D10-200	D10-200
		C2	4,9	3	dua arah	D10-200	D10-200	D10-200	D10-200
		D2	4,9	3	dua arah	D10-200	D10-200	D10-200	D10-200
		E2	5,15	3,25	dua arah	D10-200	D10-200	D10-200	D10-200
		F2	4,9	3,25	dua arah	D10-200	D10-200	D10-200	D10-200
		G2	5,15	1,5	satu arah	D10-200		D10-200	

4.4.2. Perencanaan Tangga

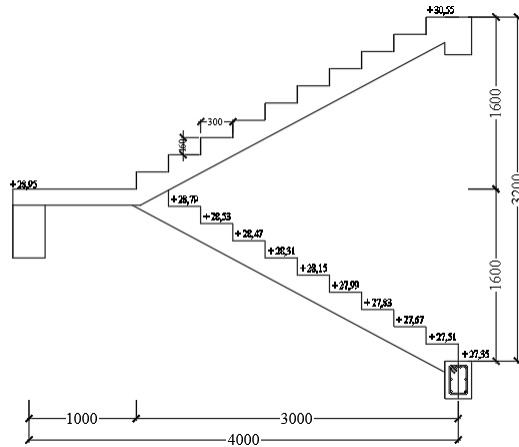
4.4.2.1. Data Perencanaan Tangga

- Perletakan
- : sendi-rol-sendi
- Kombinasi
- : 1,2D +1,6LL
- Panjang datar tangga
- : 420 cm
- Tinggi bordes
- : 160 cm
- Tinggi perlantai
- : 320 cm
- Tebal rencana pelat tangga
- : 150 cm
- Tebal rencana pelat bordes
- : 150 cm
- Lebar injakan
- : 30 cm
- Tinggi injakan
- : 16 cm
- Lebar tangga
- : 140 cm
- Lebar bordes
- : 120 cm
- Panjang bordes
- : 300 cm

a. Gambar denah perencanaan





**Gambar 4. 12** Tampak Tangga**b. Perhitungan Perencanaan Awal****Gambar 4. 13** Potongan Tangga**c. Panjang miring anak tangga**

$$\sqrt{30^2 + 16^2} = 34 \text{ cm}$$

**d. Jumlah tanjakan**

$$\frac{\text{tinggi bordes tangga}}{\text{tinggi tanjakan}} = \frac{160 \text{ cm}}{16 \text{ cm}}$$

$$= 10 \text{ buah}$$

**e. Sudut kemiringan tangga**

$$\alpha = \arctan \frac{t}{16}$$

$$\alpha = \arctan \frac{16}{30}$$

$$\alpha = 28,072^\circ$$

**f. Syarat sudut kemiringan tangga**

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$

$$25^\circ \leq 28,072^\circ \leq 40^\circ \rightarrow \text{Memenuhi}$$

**g. Jumlah Injakan**

$$n_i = n_t - 1 = 10 - 1 = 9 \text{ buah}$$

h. Tebal ekivalen anak tangga

$$\text{Luas } \Delta_1 = \frac{1}{2} \times i \times t$$

$$\begin{aligned} \text{Luas } \Delta_1 &= \frac{1}{2} \times 30 \times 16 \\ &= 248 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Luas } \Delta_2 = \frac{1}{2} (\sqrt{i^2 + t^2}) d$$

$$\text{Luas } \Delta_2 = \frac{1}{2} (\sqrt{30^2 + 16^2}) d$$

$$\text{Luas } \Delta_2 = 17 d$$

$$\text{Luas } \Delta_1 = \text{Luas } \Delta_2$$

$$248 \text{ cm}^2 = 17 d$$

$$d = 14,22 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{2} d = 7,11 \text{ cm}$$

Tebal efektif pelat tangga

$$= 15 \text{ cm} + 7,11 \text{ cm} = 22,11 \text{ cm} \approx 22 \text{ cm}$$

#### 4.4.2.2. Pembebanan Tangga dan Bordes

Pembebananyang ada pada komponen struktur tangga disesuaikan dengan **Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2013)**. Dalam hal ini, perhitungan beban-beban tangga dibagi atas pembebanan pada anak tangga dan pembebanan pada bordes.

a. Perhitungan beban pelat tangga

1. Beban mati (*SNI 1727:2013*)

$$\text{Berat sendiri pelat (t=22cm)} = 601,39 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat spesi (2 cm)} = 42 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat keramik (1 cm)} = 16,5 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Railing} = 20 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{qDL} = 679,9 \text{ kg/m}^2$$

2. Beban hidup

Beban hidup tangga (*SNI 1727:2013*)

Untuk apartemen = 479 kg/m<sup>2</sup>

3. Beban Ultimate (Qu)

$$\begin{aligned} Qu2 &= 1,2 DL + 1,6 LL \\ &= (1,2 \times 6,799 \text{ kN/m}^2) + (1,6 \times 4,79 \text{ kN/m}^2) \\ &= 15,82 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

b. Perhitungan beban pelat bordes

1. Beban mati (*SNI 1727:2013*)

Berat sendiri pelat (t=15cm)	= 360 kg/m <sup>2</sup>
Berat spesi(2 cm)	= 42 kg/m <sup>2</sup>
Berat keramik (1 cm)	= 16,5 kg/m <sup>2</sup>
Railing	= 20 kg/m <sup>2</sup>
qDL	<u>= 438,5 kg/m<sup>2</sup></u>

2. Beban hidup

Beban hidup bordes (*SNI 1727:2013*)

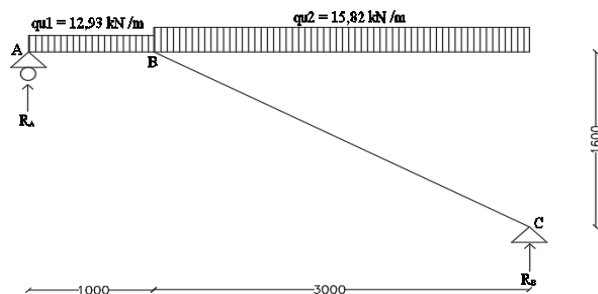
Untuk rumah sakit = 479 kg/m<sup>2</sup>

3. Beban Ultimate (Qu)

$$\begin{aligned} Qu1 &= 1,2 DL + 1,6 LL \\ &= (1,2 \times 4,385 \text{ kN/m}^2) + (1,6 \times 4,79 \text{ kN/m}^2) \\ &= 12,93 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

#### 4.4.2.3. Analisis Sruktur Tangga

Pada proses analisis struktur tangga ini, menggunakan perhitungan statis tertentu dengan perletakan berupa sendi rol seperti ditunjukkan pada gambar .



### Analisis Gaya Dalam pada Tangga

- Reaksi Perletakan

$$\sum M_A = 0$$

$$R_C \times 4 + 47,47 \times 2,5 + 12,93 \times 0,5 = 0$$

$$R_C \times 4 + 118,67 + 6,463 = 0$$

$$R_C = 31,283 \text{ kN}$$

$$\sum M_C = 0$$

$$R_A \times 4 - 12,93 \times 3,5 - 47,47 \times 1,5 = 0$$

$$R_A \times 4 - 45,241 - 71,202 = 0$$

$$R_A = 29,111 \text{ kN}$$

- Perhitungan Gaya Lintang

Potongan  $X_1$

$$DX_1 = R_A - q_1 \times X_1$$

$$= 29,11 - 12,93X_1$$

$$X_1 = 0, \quad D_A = 29,11 \text{ kN}$$

$$X_1 = 1, \quad D_B = 16,18 \text{ kN}$$

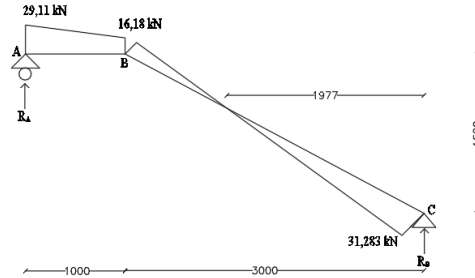
Potongan  $X_2$

$$DX_2 = R_C - q_2 \times X_2$$

$$= 31,283 - 12,93X_2$$

$$X_2 = 0, \quad D_C = 31,283 \text{ kN}$$

$$X_2 = 3, \quad D_B = -16,18 \text{ kN}$$



- Perhitungan Momen

Potongan  $X_1$

$$MX_1 = R_A \times X_1 - \frac{q_1 \times X_1^2}{2}$$

$$= 29,11 \times X_1 - \frac{12,93 \times X_1^2}{2}$$

$$X_1 = 0, \quad M_A = 0 \text{ kN.m}$$

$$X_1 = 1, \quad M_B = 22,648 \text{ kN.m}$$

22

Potongan  $X_2$

$$MX_2 = R_C \times X_2 - \frac{q_2 \times X_2^2}{2}$$

$$= 31,283 \times X_2 - \frac{15,82 \times X_2^2}{2}$$

$$X_2 = 0, \quad M_C = 0 \text{ kN.m}$$

$$X_2 = 3, \quad M_B = 22,648 \text{ kN.m}$$

Momen Maksimum

$$R_C + q_2 \times X_2 = 0$$

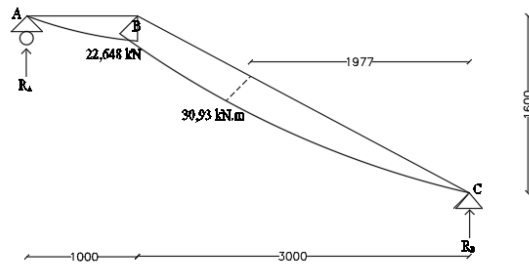
$$31,283 + 15,82 \times X_2 = 0$$

$$X_2 = 1,977 \text{ m}$$

$$M_{\max} = R_C \times X_2 - \frac{q_2 \times X_2^2}{2}$$

$$= 31,283 \times X_2 - \frac{15,82 \times X_2^2}{2}$$

$$= 30,93 \text{ kN.m}$$



a. Penulangan Tulangan Lentur Tangga

Data Desain :

- Mutu beton ( $f'_c$ ) = 25 MPa
- $\beta_1$  = 0.85
- Tebal pelat (t) = 150 mm
- Selimut beton = 20 mm
- Diameter tulangan = 13 mm
- Kuat tarik ( $f_y$ ) = 400 MPa
- $\rho_{\min}$  untuk pelat = 0.002
- $\phi$  = 0.9

sehingga nilai  $\rho$  perlu dapat dihitung sebagai berikut :

direncanakan menggunakan tulangan D13-150

$$M_u = 30,93 \text{ kN.m} = 30925375 \text{ N.mm}$$

$$\begin{aligned} d &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - \frac{1}{2} \text{ diameter tulangan} \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \frac{1}{2} 13 \text{ mm} \\ &= 123.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d} \\ &= \frac{30925375 \text{ N.mm}}{0.9 \times 1000 \text{ mm} \times 123.5 \text{ mm}} \\ &= 2,53 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \times f'_c}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 25}{400} \times \left( 1 - \sqrt{\frac{1 - 2 \times 2,53}{0,85 \times 25}} \right)$$

$$= 0.0068 > \rho_{\min} \quad (\text{maka digunakan } \rho_{\text{perlu}})$$

Sehingga didapatkan :

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\ &= 0.0068 \times 1000 \text{ mm} \times 123.5 \text{ mm} \\ &= 835,755 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menentukan jarak antar tulangan :

$$\begin{aligned} \text{Jarak} &= \frac{1000}{\frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{tulangan}}}} \\ &= \frac{1000}{\frac{835,755}{132,73}} \\ &= 158,817 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi digunakan tulangan D13-150

Kontrol Jarak Spasi Tulangan

$$\begin{aligned} S_{\max} &\leq 3h \text{ atau } 450 \text{ mm} \\ 150 \text{ mm} &\leq 3 \times 150 \text{ mm atau } 450 \text{ mm} \\ 150 \text{ mm} &\leq 450 \text{ mm atau } 450 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

b. Penulangan Tulangan Lentur Bordes

Data Desain :

- Mutu beton ( $f'_c$ ) = 25 MPa
- $\beta_1$  = 0.85
- Tebal pelat (t) = 150 mm
- Selimut beton = 20 mm
- Diameter tulangan = 13 mm
- Kuat tarik ( $f_y$ ) = 400 MPa
- $\rho_{\min}$  untuk pelat = 0.002
- $\phi$  = 0.9

sehingga nilai  $\rho$  perlu dapat dihitung sebagai berikut :

Direncanakan menggunakan tulangan D13-250

$$M_u = 22,65 \text{ kN.m} = 22647792 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} d &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - \frac{1}{2} \text{ diameter tulangan} \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \frac{1}{2} 13 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 123.5 \text{ mm} \\
 R_n &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d} \\
 &= \frac{22647792 \text{ N.mm}}{0.9 \times 1000 \text{ mm} \times 123.5 \text{ mm}} \\
 &= 1,65 \text{ N/mm} \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left( 1 - \sqrt{\frac{1 - 2 \cdot R_n}{0,85 \times f'_c}} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 25}{400} \times \left( 1 - \sqrt{\frac{1 - 2 \times 1,65}{0,85 \times 25}} \right) \\
 &= 0.0043 > \rho_{\text{min}} \text{ (maka digunakan } \rho_{\text{perlu}})
 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan :

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\
 &= 0.0043 \times 1000 \text{ mm} \times 123.5 \text{ mm} \\
 &= 530,875 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Menentukan jarak antar tulangan :

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak} &= \frac{1000}{\frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s_{\text{tulangan}}}}} \\
 &= \frac{1000}{\frac{530,875}{132.73}} \\
 &= 250,026 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jadi digunakan tulangan D13-250

Kontrol Jarak Spasi Tulangan

$$\begin{aligned}
 S_{\text{max}} &\leq 3h \text{ atau } 450 \text{ mm} \\
 250 \text{ mm} &\leq 3 \times 150 \text{ mm} \text{ atau } 450 \text{ mm} \\
 250 \text{ mm} &\leq 450 \text{ mm} \text{ atau } 450 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

**Tabel 4. 29** Rekapitulasi Penulangan Tangga

Tipe Tangga	Tinggi Tangga	Tulangan Pelat Tangga	Tulangan Pelat Bordes
1	3.2 m	13-150	13-250
2	5 m	13-100	13-200



#### 4.4.3. Perencanaan Balok Bordes

Perhitungan tulangan balok memanjang BD (45/55). Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah pembalokan, hasil output dari analisis ETABS, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMK, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok adalah sebagai berikut :

##### 4.4.3.1. Data Perencanaan Tulangan Balok:

Tipe balok	= BD (Balok Bordes)
Dimensi balok (b balok)	= 300 mm
Dimensi balok (h balok)	= 450 mm
Bentang balok (L balok)	= 3000 mm
Kuat tekan beton ( $f_c'$ )	= 25 MPa
Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ )	= 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ )	= 280 MPa
Kuat leleh tulangan puntir ( $f_{yt}$ )	= 400 MPa
Decking	= 40 mm
Diameter tulangan lentur	= 16 mm (D lentur)
Diameter tulangan geser	= 13 mm (D geser)
Diameter tulangan puntir	= 13 mm (D puntir)
Jarak spasi tulangan sejajar	= 25 mm
Jarak spasi tulangan antar lapis	= 25 mm
Faktor $\beta_1$	= 0,85
Faktor reduksi kekuatan lentur ( $\phi$ )	= 0,9
Faktor reduksi kekuatan geser ( $\phi$ )	= 0,75
Faktor reduksi kekuatan puntir ( $\phi$ )	= 0,75

Maka tinggi efektif balok:

$$d = h - \text{decking} - \text{Øsengkang} - \frac{1}{2}D_{\text{lentur}}$$

$$d = 450 - 40 - 13 - (\frac{1}{2} 16)$$

$$d = 389 \text{ mm}$$

$$d' = \text{decking} + \text{Ø sengkang} + \frac{1}{2} D_{\text{lentur}}$$

$$d' = 40 + 13 + (\frac{1}{2} 19)$$

$$d' = 61 \text{ mm}$$

- Hasil output dan diagram gaya dari analisa ETABS :  
 Untuk perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Maka didapatkan hasil output sebagai berikut:
  1. Torsi : 50063082 Nmm
  2. Momen tumpuan : 84860569 Nmm
  3. Momen lapangan : 29967203 Nmm
  4. Geser : 94732,52 N
  - 5.

#### 4.4.3.2. Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil output ETABS diperoleh momen puntir terbesar :

- Momen Puntir Ultimate :  
 $T_u = 50063082 \text{ Nmm}$
- Geser Ultimate  
 $V_u = 102341,03 \text{ N}$
- Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton  
 $A_{cp} = b \times h$   
 $= 300 \text{ mm} \times 450 \text{ mm}$   
 $= 135000 \text{ mm}^2$
- Perimeter luasan irisan penampang beton  $A_{cp}$   
 $P_{cp} = 2 \times (b + h)$   
 $= 2 \times (300 \text{ mm} + 450 \text{ mm})$   
 $= 1500 \text{ mm}$
- Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang  
 $A_{oh} = (b_{balok} - 2t_{decking} - D_{geser}) \times (h_{balok} - 2t_{decking} - D_{geser})$   
 $= (300 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - 13 \text{ mm}) \times (450 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - 13 \text{ mm})$   
 $= 73899 \text{ mm}^2$

- Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 Ph &= 2x((b_{\text{balok}} - 2t_{\text{decking}} - D_{\text{geser}}) + (h_{\text{balok}} - 2t_{\text{decking}} - D_{\text{geser}})) \\
 &= 2x(300\text{mm} - (2 \times 40\text{mm}) - 13\text{mm}) \times (450\text{mm} - (2 \times 40\text{mm}) - 13\text{mm}) \\
 &= 1128 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor  $T_u$  besarnya kurang dariada:

$$\begin{aligned}
 T_{u_{\min}} &= \phi \, 0,083 \lambda \sqrt{f'_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 T_{u_{\min}} &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \sqrt{25} \left( \frac{135000^2}{1500} \right) \\
 T_{u_{\min}} &= 3796875 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$$T_{u_{\min}} < T_u$$

$$3796875 \text{ Nmm} < 50063082 \text{ Nmm}$$

→ memerlukan tulangan puntir

- ❖ Jadi, penampang balok memerlukan penulangan puntir

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.5.2.2 Pada struktur statis tak tentu dimana reduksi momen torsi pada komponen struktur dapat terjadi akibat redistribusi gaya-gaya dalam dengan adanya keretakan,  $T_u$  maksimum boleh direduksi menjadi:

$$\begin{aligned}
 T_u &= \phi \cdot 0,33 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= 0,75 \cdot 0,33 \cdot \sqrt{25} \cdot \left( \frac{(135000)^2}{1500} \right) \\
 &= 15187500 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$T_{u_{maks}} < T_u$$

15187500 Nmm < 50063082 Nmm, maka digunakan

$$T_u = 15187500 \text{ Nmm}$$

Sehingga, momen puntir nominal

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{15187500 \text{ Nmm}}{0,75} = 20250000 \text{ Nmm}$$

- Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir  
Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot \Phi_h}{1,7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left( \frac{\frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \times b_w \times d}{b_w \times d} + \frac{2 \sqrt{f_c'}}{3} \right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{102341,03}{300 \times 389}\right)^2 + \left(\frac{15187500 \times 1128}{1,7 (73899)^2}\right)^2} \leq 0,75 \left( \frac{\frac{1}{6} \sqrt{25} \times 300 \times 389}{300 \times 389} + \frac{2 \sqrt{25}}{3} \right)$$

$$0,875 < 3,125 \rightarrow \text{Memenuhi}$$

❖ Jadi, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir

- Perhitungan Tulangan Puntir Untuk Lentur

Untuk menahan puntir sesuai dengan **SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.7** direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_l = \frac{A_t}{s} \Phi_h \left( \frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \theta$$

Dengan  $\frac{A_t}{s}$  dihitung sesuai dengan **SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6** berasal dari persamaan di bawah :

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_t \times F_{yt}}{s} \cot^2 \theta$$

Untuk beton non prategang  $\theta = 45^\circ$

Dimana,

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 73899 \text{ mm}^2 \\ &= 62814,15 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times f_{yt} \times \cot(\theta)}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{20250000}{2 \times 62814,15 \times 280 \times \cot(45)}$$

$$\frac{A_t}{s} = 0,877 \text{ mm}^2$$

$$A_l = 0,877 \times 1128 \times \left(\frac{280}{400}\right) \cot^2 45$$

$$A_l = 454,555 \text{ mm}^2$$

❖ Jadi, tulangan puntir untuk lentur 454,555 mm<sup>2</sup>

- Sesuai dengan **SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3** tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan ketentuan

$$A_l \text{ min} = \frac{0,42 \sqrt{f_c'} \times A_{cp}}{F_y} - \left(\frac{A_t}{s}\right) P_h \frac{F_{yt}}{F_y}$$

$$= \frac{0,42 \sqrt{25} \times 13500}{400} - 0,877 \times 1128 \frac{280}{400}$$

$$= 248,57 \text{ mm}^2$$

Dengan  $\frac{A_t}{s}$  tidak boleh kurang dari :  $0,175 \frac{b_w}{f_{yt}}$

$$\frac{A_t}{s} > 0,175 \frac{b_w}{f_{yt}}$$

$$0,877 > 0,175 \frac{450}{280}$$

$$0,877 > 0,188 \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kontrol :

$$A_l \text{ perlu} \geq A_l \text{ min}$$

$$454,55 \geq 248,57 \rightarrow \text{gunakan } A_l \text{ perlu}$$

❖ Jadi, tulangan puntir perlu sebesar 454,55 mm<sup>2</sup>

- Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok

$$\frac{A_l}{4} = \frac{454,55}{4} = 113,639 \text{ mm}^2$$

pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok

pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok

❖ Maka :

- Sisi atas dan sisi bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar =

$$2 \times \frac{A_l}{4} = 2 \times \frac{454,55}{4} = 227,278 \text{ mm}^2$$

- Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$n = \frac{A_s}{\text{Luasan D puntir}}$$

$$n = \frac{227,278 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4}\pi 13^2}$$

$$= 1,7 \approx 2 \text{ buah}$$

❖ Jadi, dipasang tulangan puntir 2D13

- Luasan tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$A_s = n \times \text{Luasan D puntir}$$

$$= 2 \times 0,25\pi 13^2$$

$$= 265,465 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$

$$265,465 \text{ mm}^2 \geq 227,278 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

❖ Jadi, dipasang tulangan puntir pada lapangan, dan tumpuan sebesar 2D13

#### 4.4.2.3. Perhitungan Penulangan Lentur

- Garis netral dalam kondisi balance

$$X_b = \left( \frac{600}{600 + F_y} \right) \times d$$

$$= \left( \frac{600}{600+400} \right) \times 389$$

$$= 233,4 \text{ mm}$$

- Garis netral maksimum

$$X_{\max} = 0,75 \times X_b$$

$$= 0,75 \times 233,4$$

$$= 175,05 \text{ mm}$$

- Garis netral minimum

$$X_{\min} = d'$$

$$= 61 \text{ mm}$$

- Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

- Komponen beton tertekan

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}$$

$$C_c' = 0,85 \times 25 \times 300 \times 0,85 \times 100$$

$$C_c' = 541875 \text{ N}$$

- Luas tulangan Tarik

$$A_{sc} = \frac{C_c'}{F_y}$$

$$= \frac{541875}{400}$$

$$= 1355 \text{ mm}^2$$

- Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right)$$

$$= 1355 \times 400 \times \left( 389 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right)$$

$$= 187759688 \text{ Nmm}$$

- a. Daerah Tumpuan

$$\text{Momen tumpuan} = 84860569 \text{ Nmm}$$

- Momen lentur nominal (Mn)

$$M_{u_{\text{tumpuan}}} = 84860569 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_{ux}}{\phi} \\
 &= \frac{84860569}{0,9} \\
 &= 94289521,61 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

- Cek momen nominal tulangan lentur rangkap  
 Syarat :  
 $M_{ns} > 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan  
 $M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan  
 $M_{ns} = M_n - M_{nc}$   
 $= 94289521,61 - 187759688$   
 $= -93470166 \text{ Nmm}$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$$M_{ns} = -93470166 < 0$$

$\rightarrow$  (Tidak memerlukan tulangan lentur tekan)

- ❖ Jadi analisis berikutnya untuk perhitungan balok digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

#### Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,8$$

Menurut **SNI 2847:2013 pasal 10.5.1**, syarat  $\rho_{min}$  :

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{F_y} = \frac{0,25 \sqrt{25}}{400} = 0,003125$$

yang menentukan  $\rho_{min} = 0,003125$

$$\rho_{max} = 0,025 \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1})$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{84860569}{300 \times 389^2} = 2,08 \text{ N/mm}^2$$



$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{F_y}} \right] \\ &= \frac{1}{18,8} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,8 \times 2,08}{0,85 \times 25}} \right] \\ &= 0,0055\end{aligned}$$

Kontrol Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,00315 < 0,0055 < 0,025 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- Luasan perlu (As perlu) tulangan lentur tarik
 
$$\begin{aligned}As &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0055 \times 300 \times 389 \\ &= 638,9 \text{ mm}^2\end{aligned}$$
- Luasan tulangan puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur tarik
 
$$\frac{A_l}{4} = 113,64 \text{ mm}^2$$
- Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir
 
$$\begin{aligned}As_{\text{perlu}} &= As_{\text{perlu tul. Lentur tarik}} + As_{\text{tul. Puntir untuk tul. lentur tarik}} \\ &= 638,9 \text{ mm}^2 + 113,64 \text{ mm}^2 \\ &= 752,5 \text{ mm}^2\end{aligned}$$
- Jumlah tulangan lentur tarik
 
$$\begin{aligned}n &= \frac{As_{\text{perlu}}}{Luasan D_{\text{lentur}}} \\ &= \frac{752,5}{\frac{1}{4} \pi 16^2} \\ &= 3,74 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}\end{aligned}$$

- Luasan tulangan lentur tarik
 
$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \pi \times 16^2 \\ &= 804,247 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol Syarat:  
 $\text{As pasang} > \text{As perlu}$   
 $804,247 \text{ mm}^2 > 752,5 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$
- Luasan pasang (As') tulangan lentur tekan
 
$$\begin{aligned} \text{As' perlu} &= \text{Luasan tulangan lentur tarik} + \text{luas} \\ &\quad \text{tambahan torsi longitudinal sisi atas} \\ &\quad \text{balok} \\ &= \text{As} + \frac{\text{At}}{4} \\ &= 0 + 113,64 = 113,64 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$
- Jumlah tulangan lentur tekan
 
$$\begin{aligned} \text{As perlu} \\ n &= \frac{\text{Luasan D lentur}}{113,64} \\ &= \frac{1}{4} \pi 13^2 \\ &= 0,56 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$
- Luasan tulangan lentur tekan
 
$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \pi \times 16^2 \\ &= 402,124 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol Syarat:  
 $\text{As pasang} > \text{As perlu}$   
 $402,124 \text{ mm}^2 > 113,64 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$
- Kontrol jarak spasi tulangan pakai
 

Direncanakan :

  - ✓ Tulangan tarik = 1 lapis (4D16)
  - ✓ Tulangan tekan = 1 lapis (2D16)

Kontrol tulangan tarik 1 lapis

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{\frac{n-1}{4-1}}$$

$$= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (5 \times 16)}{4-1}$$

$$= 43,3 \text{ mm}$$

$S_{\max} \geq S$  syarat agregat

$43,3 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \rightarrow (\text{Memenuhi})$

Kontrol tulangan tekan 1 lapis

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{\frac{n-1}{2-1}}$$

$$= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (2 \times 16)}{2-1}$$

$$= 162 \text{ mm}$$

$S_{\max} \geq S$  syarat agregat

$162 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \rightarrow (\text{Memenuhi})$

- Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik terpenuhi ( $S_{\max} \geq 25 \text{ mm}$ ), maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis

- o Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negative yang disediakan pada muka joint tersebut. Baik kekuatan momen negatif pada sebarang penampang sepanjang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum yang diseiakan pada muka salah satu joint tersebut.

$M \text{ lentur tumpuan}(+) \geq 1/2 \times M \text{ lentur tumpuan}(-)$

(SNI 2847:2013, Pasal 21.5.2.2)

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$\begin{aligned}
 &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\
 &= 804,25 \text{ mm}^2 \\
 \text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\
 &= 402,12 \text{ mm}^2 \\
 \text{M lentur tumpuan(+)} &\geq 1/2 \times \text{M lentur tumpuan(-)} \\
 402,12 \text{ mm}^2 &\geq 1/2 \times 804,25 \text{ mm}^2 \\
 402,12 \text{ mm}^2 &\geq 402,12 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

o Kontrol Kondisi Penampang

Tinggi balok tegangan persegi ekivalen

$$\alpha = \frac{A_{s_{pakai}} \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} = \frac{804,25 \times 400}{0,85 \times 25 \times 300} = 50,5 \text{ mm}$$

Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{\alpha}{\beta_1} = \frac{50,5}{0,85} = 59,368 \text{ mm}$$

$$0,375 d_t = 0,375 \times 389 = 146 \text{ mm}$$

Syarat :

$$c \leq 0,375 d_t \rightarrow \text{kondisi terkontrol Tarik}$$

$$59,4 \text{ mm} \leq 146 \text{ mm} \text{ (asumsi benar, } \phi = 0,9 \text{)}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mn pasang} &= A_s \times F_y \times \left( d - \frac{\alpha}{2} \right) \\
 &= 804,25 \times 400 \times \left( 389 - \frac{50,5}{2} \right) \\
 &= 117024058,6 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka:

Mn pasang > Mn perlu

$$117024058,6 \text{ Nmm} > 94289521,61 \text{ Nmm (OK)}$$

❖ Maka pada balok bordes untuk daerah tumpuan:

✓ Tulangan lentur tarik susun 1 lapis

Lapis 1= 4D16

✓ Tulangan lentur tekan susun 1 lapis

Lapis 1= 2D16

## b. Daerah Lapangan

Momen lapangan = 29967203 Nmm

- Momen lentur nominal (Mn)

$$M_{\text{lapangan}} = 29967203 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_{ux}}{\phi} \\ &= \frac{29967203}{0,9} \\ &= 33296892,27 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 33296892,27 - 187759688 \\ &= -154462795,2 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$$M_{ns} = -154462795,2 < 0$$

$\rightarrow$  (Tidak memerlukan tulangan lentur tekan)

- ❖ Jadi analisis berikutnya untuk perhitungan balok digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,8$$

Menurut **SNI 2847:2013 pasal 10.5.1**, syarat  $\rho_{\min}$  :

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{F_y} = \frac{0,25 \sqrt{25}}{400} = 0,003125$$

yang menentukan  $\rho_{min} = 0,003125$

$\rho_{max} = 0,025$  (SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1)

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{29967203}{0,9 \times 300 \times 389^2} = 0,73 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right] \\ &= \frac{1}{18,8} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,8 \times 0,73}{400}} \right] \\ &= 0,00187 \end{aligned}$$

Kontrol Syarat:

$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$0,003125 > 0,00186 < 0,025 \rightarrow$  (Tidak Memenuhi)

- Luasan perlu (As perlu) tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,003125 \times 300 \times 389 \\ &= 364,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luasan tulangan puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur

$$\frac{A_l}{4} = 113,64 \text{ mm}^2$$

- Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= A_s \text{ perlu tul. Lentur tarik} + A_s \text{ tul. Puntir untuk tul. lentur tarik} \\ &= 364,7 \text{ mm}^2 + 113,64 \text{ mm}^2 \\ &= 478,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D \text{ lentur}} \\
 &= \frac{478,3}{\frac{1}{4} \pi 16^2} \\
 &= 2,38 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

- Luasan tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned}
 As \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} D \text{ lentur} \\
 &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\
 &= 603,186 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol Syarat:

$As \text{ pasang} > As \text{ perlu}$

$$603,186 \text{ mm}^2 > 478,3 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- Luasan pasang ( $As'$ ) tulangan lentur tekan

$As' \text{ perlu} = \text{Luasan tulangan lentur tarik} + \text{luas}$   
 tambahan torsi longitudinal sisi atas  
 balok

$$\begin{aligned}
 &= As + \frac{At}{4} \\
 &= 0 + 113,64 = 113,64 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D \text{ lentur}} \\
 &= \frac{113,64}{\frac{1}{4} \pi 16^2} \\
 &= 0,57 \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

- Luasan tulangan lentur tekan

$$As \text{ pasang} = n \text{ pasang} \times \text{luas} D \text{ lentur}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 402,12 \text{ mm}^2$$

Kontrol Syarat:

As pasang > As perlu

$$402,12 \text{ mm}^2 > 113,64 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Direncanakan :

✓ Tulangan tarik = 1 lapis (3D16)

✓ Tulangan tekan = 1 lapis (2D16)

Kontrol tulangan tarik 1 lapis

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n-1}$$

$$= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (3 \times 16)}{3-1}$$

$$= 73 \text{ mm}$$

S maks ≥ S syarat agregat

$$73 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

Kontrol tulangan tekan 1 lapis

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n-1}$$

$$= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (2 \times 16)}{2-1}$$

$$= 162 \text{ mm}$$

S maks ≥ S syarat agregat

$$162 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik terpenuhi ( $S_{\max} \geq 25 \text{ mm}$ ) , maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis

- Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok



Kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negative yang disediakan pada muka joint tersebut. Baik kekuatan momen negatif pada sebarang penampang sepanjang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint tersebut.

$$M \text{ lentur lapangan}(+) \geq 1/4 \times M \text{ lentur tumpuan}(-) \\ \text{(SNI 2847:2013, Pasal 21.5.2.2)}$$

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \pi \times 16^2 \\ &= 804,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \pi \times 16^2 \\ &= 603,19 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ lentur lapangan } (+) &\geq 1/2 \times M \text{ lentur tumpuan } (-) \\ 603,19 \text{ mm}^2 &\geq 1/4 \times 804,25 \text{ mm}^2 \\ 603,19 \text{ mm}^2 &\geq 201,062 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)} \end{aligned}$$

#### o Kontrol Kondisi Penampang

Tinggi balok tegangan persegi ekivalen

$$\alpha = \frac{A_{s \text{ pakai}} \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{603,19 \times 400}{0,85 \times 25 \times 300} = 37,8 \text{ mm}$$

Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{\alpha}{\beta_1} = \frac{37,8}{0,85} = 59,4 \text{ mm}$$

$$0,375 \text{ dt} = 0,375 \times 389 = 146 \text{ mm}$$

Syarat :

$$c \leq 0,375 \text{ dt} \rightarrow \text{kondisi terkontrol Tarik}$$

$$59,4 \text{ mm} \leq 146 \text{ mm} \text{ (asumsi benar, } \emptyset = 0,9)$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \times F_y \times \left( d - \frac{\alpha}{2} \right) \\ &= 603,19 \times 400 \times \left( 389 - \frac{53,4}{2} \right) \\ &= 89289960,18 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka:

$M_n \text{ pasang} > M_n \text{ perlu}$

$$89289960,18 \text{ Nmm} > 33296892,27 \text{ Nmm (OKE)}$$

❖ Maka pada balok bordes untuk daerah lapangan:

✓ Tulangan lentur tarik susun 1 lapis

Lapis 1= 3D16

✓ Tulangan lentur tekan susun 1 lapis

Lapis 1= 2D16

#### 4.4.2.4. Perhitungan Penulangan Geser

- Data perencanaan :

Dimensi balok (b balok) = 300 mm

Dimensi balok (h balok) = 450 mm

Kuat tekan beton ( $f_c'$ ) = 25 MPa

Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ ) = 280 MPa

Diameter tul. geser (D geser) = 13 mm

$\beta_1$  = 0,85

Faktor reduksi kekuatan geser = 0,75

- Berdasarkan hasil output dari analisa ETABS dan diagram gaya dalam:

$$V_u = 102341,03 \text{ N}$$

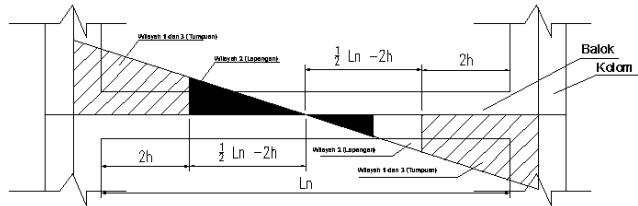
- Pembagian Wilayah Geser Balok

Dalam perhitungan tulangan geser (senggang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

1. *Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)*, sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang

**(SNI 2847:2013 Pasal 21.3)**

2. Wilayah 2 (daerah lapangan) , dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke  $\frac{1}{2}$  bentang balok.



**Gambar 4. 14** Pembagian Wilayah Geser Pada Balok

- Syarat Kuat Tekan Beton ( $f_c'$ )  
 Nilai  $\sqrt{f_c'}$  yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3 MPa (**SNI 2847:2013 pasal 11.1.2**)  
 $\sqrt{f_c'} < 8,3$   
 $\sqrt{25} < 8,3$   
 $5 < 8,3 \rightarrow$  (Memenuhi)
- Kuat Geser Balok  
 Kuat Geser Tulangan  
 (**SNI 2847:2013 Pasal 11.2.1.1**)  
 $V_s \text{ min} = 0,33 \times b \times d$   
 $= 0,33 \times 300 \times 389$   
 $= 38900 \text{ N}$
- Penulangan Geser Balok
  1. Pada Wilayah 1 dan 3 (Daerah Tumpuan)  
 (**SNI 2847:2013 pasal 21.5**)  
 Gaya geser diperoleh dari :  

$$a = \left( \frac{A_s \cdot F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left( \frac{804,25 \times 400}{0,85 \times 25 \times 300} \right)$$

$$a = 50,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr1} &= A_s \times f_y \times 1,25 \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 804,25 \times 400 \times 1,25 \times \left(389 - \frac{50,5}{2}\right) \\
 &= 146280073,3 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \left( \frac{A_s \cdot F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\
 a &= \left( \frac{402,12 \times 400}{0,85 \times 25 \times 300} \right) \\
 a &= 25,2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr2} &= A_s \times f_y \times 1,25 \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 402,12 \times 400 \times 1,25 \times \left(389 - \frac{25,2}{2}\right) \\
 &= 75676564,67 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_e &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} + \frac{W_u \times l_n}{2} \\
 &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} + V_u \\
 &= \frac{146280073,3 + 75676564,67}{2200} + 102341,03 \\
 &= 203230,41 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Pada SNI 2847:2013 pasal 21.5.4.2 pada daerah tumpuan harus diasumsikan  $V_c = 0$ , jika keduanya (a) dan (b) terjadi :

- (a) Gaya geser yang ditimbulkan gempa  $V_e$  mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum

$$V_e > \frac{1}{2} V_u$$

$$203130,41 \text{ N} > \frac{1}{2} 102341,03 \text{ N}$$

$$203130,41 \text{ N} > 51170,515 \text{ N (OKE)}$$

- (b) Gaya tekan aksial terfaktor  $P_u$  termasuk pengaruh gempa kurang dari  $A_g f_c' / 20$   
 Nilai  $P_u$  pada balok = 0 (OKE)

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ perlu} &= \frac{V_e - \phi V_c}{\phi} \\
 &= \frac{203130,41 \text{ N} - 0,75 \times 0 \text{ N}}{0,75} \\
 &= 270974 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$V_s \text{ min} < V_s \text{ perlu}$$

$$38900 \text{ N} < 270974 \text{ N} \rightarrow \text{memenuhi}$$

○ Direncanakan :

$$D \text{ geser} = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah kaki} = 2 \text{ kaki}$$

$$\begin{aligned}
 A_v &= (0,25 \times \pi \times d^2) \times n \text{ kaki} \\
 &= (0,25 \times \pi \times 13^2) \times 2 \\
 &= 265,465 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

○ Perhitungan penulangan geser dengan penambahan nilai torsi dihitung berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2 maka didapatkan hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_{yt} \times d} \\
 &= \frac{270974}{280 \times 389} \\
 &= 1,7 \text{ mm}^2/\text{mm} \\
 \frac{A_{vt}}{s} &= \frac{2 \times A_t}{s} + \frac{A_v}{s} \\
 &= 2 \times 0,576 + 1,7 \\
 &= 2,89 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

○ Jarak Tulangan Geser Perlu (Sperlu)

$$s = \frac{A_v}{A_{vt}/s}$$

$$= \frac{265,465}{2,89}$$

$$= 91,77 \text{ mm} \approx 90 \text{ mm}$$

Maka : dipasang jarak 70 mm antar tulangan geser  
Syarat :

$$A_v \geq (0,35 \cdot b_w \cdot s) / f_{yt}$$

$$265,465 \text{ mm}^2 \geq (0,35 \cdot 300 \cdot 90) / 280 \text{ mm}^2$$

$$265,465 \text{ mm}^2 \geq 34 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

o Cek Syarat SRPMK Untuk Kekuatan Geser Balok

Senggang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi senggang tertutup tidak boleh melebihi yang terkecil dari a), b) dan c):

a)  $d/4$

b) Enam kali diameter tulangan longitudinal

c) 150 mm

**(SNI 2847:2013 Pasal 21.5.3.2)**

Kontrol jarak spasi tulangan:

a) S pakai  $< \frac{d}{4}$

$$90 \text{ mm} < \frac{389 \text{ mm}}{4}$$

$$90 \text{ mm} < 97,25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

b) S pakai  $< 6D$  lentur

$$90 \text{ mm} < 96 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

c) S pakai  $< 150 \text{ mm}$

$$90 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

❖ Jadi digunakan tulangan geser untuk daerah tumpuan balok D13-90 mm dengan senggang 2kaki

2. Pada Wilayah 2 (Daerah Lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \frac{V_{e2}}{\frac{1}{2} \ln - 2h} &= \frac{V_{e1}}{\frac{1}{2} \ln} \\
 V_{e2} &= \frac{V_{e1} \times \left(\frac{1}{2} \ln - 2h\right)}{\frac{1}{2} \ln} \\
 &= \frac{203230,41 \text{ N} \times \left(\frac{1}{2} \times 2200 - 2 \times 300\right)}{\frac{1}{2} 2200} \\
 &= 35567,82 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d \\
 &= 0,17 \times \sqrt{25} \times 300 \times 389 \\
 &= 99195 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ perlu} &= \frac{V_e - \phi V_c}{\phi} \\
 &= \frac{35567,82 \text{ N} - 0,75 \times 99195 \text{ N}}{0,75} \\
 &= -51772 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$V_s \text{ min} > V_s \text{ perlu}$$

$$38900 \text{ N} > -51772 \text{ N} \rightarrow \text{digunakan } V_s \text{ min}$$

○ Direncanakan :

$$D \text{ geser} = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah kaki} = 2 \text{ kaki}$$

$$A_v = (0,25 \times \pi \times d^2) \times n \text{ kaki}$$

$$= (0,25 \times \pi \times 13^2) \times 2$$

$$= 265,465 \text{ mm}^2$$

○ Perhitungan penulangan geser dengan penambahan nilai torsi dihitung berdasarkan SNI 2847:2013

pasal 11.5.5.2 maka didapatkan hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_{yt} \times d} \\ &= \frac{38900}{280 \times 389} \\ &= 0,3 \text{ mm}^2/\text{mm} \\ \frac{A_{vt}}{s} &= \frac{2 \times A_t}{s} + \frac{A_v}{s} \\ &= 2 \times 0,576 + 0,3 \\ &= 1,4 \text{ mm}^2/\text{mm}\end{aligned}$$

- Jarak Tulangan Geser Perlu (Sperlu)

$$\begin{aligned}s &= \frac{A_v}{A_{vt}/s} \\ &= \frac{265,465}{1,4} \\ &= 189,4 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka : dipasang jarak 150 mm antar tulangan geser  
Syarat :

$$\begin{aligned}A_v &\geq (0,35 \cdot b_w \cdot s) / f_{yt} \\ 265,465 \text{ mm}^2 &\geq (0,35 \cdot 300 \cdot 150) / 280 \text{ mm}^2 \\ 265,465 \text{ mm}^2 &\geq 56 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})\end{aligned}$$

- Cek Syarat SRPMK Untuk Kekuatan Geser Balok

Spasi tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur tidak boleh melebihi  $d/2$  pada komponen struktur non-prategang dan  $0,75h$  pada komponen struktur prategang ataupun 600 mm

**(SNI 2847:2013 Pasal 11.4.5.1)**

Kontrol:

$$\text{a) } S \text{ pakai } < \frac{d}{2}$$



- $$150 \text{ mm} < \frac{389 \text{ mm}}{2}$$
- $$150 \text{ mm} < 189,4 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$
- b) S pakai < 600 mm
- $$150 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$
- ❖ Jadi digunakan tulangan geser untuk daerah lapangan balok D13-150 mm dengan sengkang 2 kaki

#### 4.4.2.5. Perhitungan Panjang Penyaluran

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12 sebagai berikut :

○ Penyaluran Kait Standar Kondisi Tarik

Panjang penyaluran kait standar kondisi tarik dihitung berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.5.2 sebagai berikut :

$$l_{dh} = \frac{\left( \frac{0,24 \psi_{efy}}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) db}{\left( \frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \sqrt{25}} \right)}$$

$$l_{dh} = \frac{16}{16}$$

$$l_{dh} = 307 \text{ mm} \approx 350 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_{dh} > 8db \quad \text{atau} \quad l_{dh} > 150 \text{ mm}$$

$$350 > 128 \text{ mm} \quad \text{atau} \quad 350 > 150 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Panjang kait

$$12db = 12 (16) = 192 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

- ❖ Maka dipakai kait ldh sepanjang 350mm dengan tambahan kait 90° sepanjang 200 mm

- Penyaluran Tulangan dalam Kondisi Tarik :

Sesuai dengan SNI 3847:2013 pasal 12.2.1 bahwa untuk batang tulangan atau kawat ulir dengan D-22 atau lebih kecil, ld harus dihitung dengan rumus dibawah ini :

$$ld = \left[ \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right] db$$

$$ld = \left[ \frac{400 \times 1 \times 1,5}{1,7 \times 1 \sqrt{25}} \right] 16$$

$$ld = 1129 \text{ mm}$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih):

$$ld \text{ reduksi} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} ld$$

$$= \frac{750,2}{804,2} 1129$$

$$= 1054 \text{ mm}$$

Direncanakan

$$ld = 1200 \text{ mm}$$

Kontrol syarat berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.7.5.2(b) :

$$ld = 1200 \text{ mm} > 3,25 ldh$$

$$ld = 1200 \text{ mm} > 1137,5 \text{ mm} \rightarrow (\text{memenuhi})$$

- ❖ Maka panjang penyaluran dalam kondisi tarik 1200 mm

- Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tekan

Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.3.2.

Perhitungan :

$$l_{dc} = \left( \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b \quad \text{atau } l_{dc} = (0,043 \times f_y) d_b$$

$$l_{dc} = \left( \frac{0,24 \times 400}{1 \times \sqrt{25}} \right) 16 \quad \text{atau } l_{dc} = (0,043 \times 400) 16$$

$$l_{dc} = 307,2 \text{ mm} \quad \text{atau } l_{dc} = 275,2 \text{ mm}$$

$l_{dc}$  perlu dipilih dengan nilai terbesar, maka digunakan  $l_{dc}$  perlu = 307,2 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih):

$$l_{dc} \text{ reduksi} = \frac{A_s' \text{ perlu}}{A_s' \text{ pasang}} l_d$$

$$= \frac{113}{402,1} 307,2$$

$$= 86,4 \text{ mm}$$

Direncanakan

$$l_d = 200 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_{dc} = 200 \text{ mm} > l_{dc} \text{ reduksi}$$

$$l_{dc} = 200 \text{ mm} > 86,4 \text{ mm} \rightarrow (\text{memenuhi})$$

$$l_{dc} = 200 \text{ mm} > 200 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 200 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \rightarrow (\text{memenuhi})$$

○ Penyaluran Tulangan Momen Negatif

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.12.3. Paling sedikit sepertiga tulangan tarik total yang dipasang untuk momen negatif pada tumpuan harus mempunyai panjang penanaman melewati titik belok tidak kurang dari  $d$ ,  $12d_b$ , dan  $l_n/16$ , yang mana yang lebih besar.

Dimana :

$$d = 390 \text{ mm}$$

$$12d_b = 12 \cdot 16 \text{ mm} = 192 \text{ mm}$$

$$l_n/16 = (3000 \text{ mm} - 1000 \text{ mm})/16 = 125 \text{ mm}$$

Hasil perhitungan yang lebih besar adalah 390 mm, maka digunakan penyaluran momen negative = 400 mm

- Kait Standar untuk Senggang  
Untuk tulangan D25 dan yang lebih kecil, bengkokan 135 derajat ditambah perpanjangan  $6d_b$  pada ujung bebas batang tulangan.

$$6d_b = 6 \cdot 12 \text{ mm}$$

$$= 72 \text{ mm} \geq 75 \text{ mm}$$

Digunakan panjang kait 100 mm

BALOK BORDES (BD) 30/45		
TUMPUAN 1	LAPANGAN	TUMPUAN 2
4D16	2D16	4D16
2D16	3D16	2D16
2D13	2D13	2D13
2D13-90	2D13-150	2D13-90

**Gambar 4. 15** Detail Penulangan Balok Bordes

#### 4.4.4. Perencanaan Balok Anak

Perhitungan tulangan balok memanjang BA1 (30/45). Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah pembalokan, hasil output dari analisis ETABS, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMK, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok adalah sebagai berikut :

##### 4.4.4.1. Data Perencanaan Tulangan Balok:

Tipe balok = BA1

Dimensi balok (b balok) = 300 mm

Dimensi balok (h balok)	= 450 mm
Bentang balok (L balok)	= 3000 mm
Kuat tekan beton ( $f_c'$ )	= 25 MPa
Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ )	= 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ )	= 280 MPa
Kuat leleh tulangan puntir ( $f_{yt}$ )	= 400 MPa
Decking	= 40 mm
Diameter tulangan lentur	= 16mm (D lentur)
Diameter tulangan geser	= 13 mm (D geser)
Diameter tulangan puntir	= 13 mm (D puntir)
Jarak spasi tulangan sejajar	= 25 mm
Jarak spasi tulangan antar lapis	= 25 mm
Faktor $\beta_1$	= 0,85
Faktor reduksi kekuatan lentur ( $\phi$ )	= 0,9
Faktor reduksi kekuatan geser ( $\phi$ )	= 0,75
Faktor reduksi kekuatan puntir ( $\phi$ )	= 0,75

Tinggi efektif balok:

$$d = h - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} D \text{ lentur}$$

$$d = 450 - 40 - 13 - (\frac{1}{2} 16)$$

$$d = 389 \text{ mm}$$

$$d' = \text{decking} + \emptyset \text{ sengkang} + \frac{1}{2} D \text{ lentur}$$

$$d' = 40 + 13 + (\frac{1}{2} 16)$$

$$d' = 61 \text{ mm}$$

o Hasil output dan diagram gaya dari analisa ETABS :

Untuk perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Maka didapatkan hasil output sebagai berikut:

1. Torsi	: 13185350	Nmm
2. Momen tumpuan	: 79082919	Nmm
3. Momen lapangan	: 31723860	Nmm
4. Geser	: 89999,89	N

#### 4.4.4.2. Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil output ETABS diperoleh momen puntir terbesar :

- Momen Puntir Ultimate :

$$T_u = 13185350 \text{ Nmm}$$

- Geser Ultimate

$$V_u = 89999,89 \text{ N}$$

- Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \times h \\ &= 300 \text{ mm} \times 450 \text{ mm} \\ &= 135000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Perimeter luasan irisan penampang beton  $A_{cp}$

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b + h) \\ &= 2 \times (300 \text{ mm} + 450 \text{ mm}) \\ &= 1500 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2t_{decking} - D_{geser}) \times (h_{balok} - 2t_{decking} - D_{geser}) \\ &= (300 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - 13 \text{ mm}) \times (450 \text{ mm} - \\ &\quad (2 \times 40 \text{ mm}) - 13 \text{ mm}) \\ &= 73899 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times ((b_{balok} - 2t_{decking} - D_{geser}) + (h_{balok} - 2t_{decking} - \\ &\quad D_{geser})) \\ &= 2 \times (300 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - 13 \text{ mm}) \times (450 \text{ mm} - \\ &\quad (2 \times 40 \text{ mm}) - 13 \text{ mm}) \\ &= 1128 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor  $T_u$  besarnya kurang dari ada:

$$Tu_{\min} = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$Tu_{\min} = 0,75 \times 0,083 \times 1 \sqrt{25} \left( \frac{135000^2}{1500} \right)$$

$$Tu_{\min} = 3796875 \text{ Nmm}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$$Tu_{\min} < Tu$$

$$3796875 \text{ Nmm} < 13185349,6 \text{ Nmm}$$

→ memerlukan tulangan puntir

❖ Jadi, penampang balok memerlukan penulangan puntir

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.5.2.2 Pada struktur statis tak tentu dimana reduksi momen torsi pada komponen struktur dapat terjadi akibat redistribusi gaya-gaya dalam dengan adanya keretakan,  $Tu$  maksimum boleh direduksi menjadi:

$$\begin{aligned} Tu_{\max} &= \phi 0,33 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 0,75 \cdot 0,33 \cdot \sqrt{25} \cdot \left( \frac{(135000)^2}{1500} \right) \\ &= 15187500 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$Tu_{\max} < Tu$$

$$15187500 \text{ Nmm} < 13185349,6 \text{ Nmm}, \text{ maka digunakan}$$

$$Tu = 13185349,6 \text{ Nmm}$$

Sehingga, momen punter nominal

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{13185349,6 \text{ Nmm}}{0,75} = 17580466 \text{ Nmm}$$

- Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir  
Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{B_w \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot \Phi}{1,7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left( \frac{\frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \times b_w \times d}{B_w \cdot d} + \frac{2 \sqrt{f_c'}}{3} \right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{89999,9}{450 \times 389}\right)^2 + \left(\frac{13185349,6 \times 1132}{1,7(73899)^2}\right)^2} \leq 0,75 \left( \frac{\frac{1}{6} \sqrt{25} \times 300 \times 389}{300 \times 389} + \frac{2 \sqrt{25}}{3} \right)$$

0,771 < 3,125 → Memenuhi

- ❖ Jadi, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir

- Perhitungan Tulangan Puntir Untuk Lentur

Untuk menahan puntir sesuai dengan **SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.7** direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_l = \frac{A_t}{s} \Phi \left( \frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \theta$$

Dengan  $\frac{A_t}{s}$  dihitung sesuai dengan **SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6** berasal dari persamaan di bawah :

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_t \times F_{yt}}{s} \cot^2 \theta$$

Untuk beton non prategang  $\theta = 45^\circ$

Dimana,

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 73899 \text{ mm}^2 \\ &= 62814,15 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_o \times f_{yt} \times \cot(\theta)} \\ \frac{A_t}{s} &= \frac{17580466,1}{2 \times 62814,15 \times 280 \times \cot(45)} \\ \frac{A_t}{s} &= 0,5 \text{ mm} \end{aligned}$$



$$A_l = 0,5 \times 1128 \times \left(\frac{280}{400}\right) \cot^2 45$$

$$A_l = 394,63 \text{ mm}^2$$

❖ Jadi, tulangan puntir untuk lentur 394,63 mm<sup>2</sup>

- Sesuai dengan **SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3** tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan ketentuan

$$\begin{aligned} A_{l \text{ min}} &= \frac{0,42 \sqrt{f_c'} \times A_{cp}}{F_y} - \left(\frac{A_t}{s}\right) P_h \frac{F_{yt}}{F_y} \\ &= \frac{0,42 \sqrt{25} \times 135000}{400} - 0,58 \times 1128 \frac{280}{400} \\ &= 308,49 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dengan  $\frac{A_t}{s}$  tidak boleh kurang dari :  $0,175 \frac{b_w}{f_{yt}}$

$$\frac{A_t}{s} > 0,175 \frac{b_w}{f_{yt}}$$

$$0,58 > 0,175 \frac{300}{280}$$

0,58 > 0,188 → Memenuhi

Kontrol :

$A_l \text{ perlu} \geq A_{l \text{ min}}$

$394,63 \geq 308,49 \rightarrow$  gunakan  $A_l \text{ perlu}$

❖ Jadi, tulangan puntir perlu sebesar 394,63 mm<sup>2</sup>

- Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok

$$\frac{A_l}{4} = \frac{394,63}{4} = 98,66 \text{ mm}^2$$

pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok

pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok

❖ Maka :

- Sisi atas dan sisi bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar =

$$2 \times \frac{Al}{4} = 2 \times \frac{394,63}{4} = 197,316 \text{ mm}^2$$

- Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$n = \frac{As}{\text{Luasan D puntir}}$$

$$n = \frac{197,316 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \pi 13^2}$$

$$n = \frac{197,316 \text{ mm}^2}{132,73}$$

$$= 1,49 \approx 2 \text{ buah}$$

❖ Jadi, dipasang tulangan puntir 2D13

- Luasan tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$As = n \times \text{Luasan D puntir}$$

$$= 2 \times 0,25 \pi 13^2$$

$$= 265,464 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As pasang  $\geq$  As perlu

$$265,464 \text{ mm}^2 \geq 197,316 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

❖ Jadi, dipasang tulangan puntir lapangan dan tumpuan sebesar 2D13

#### 4.4.4.3. Perhitungan Penulangan Lentur

- Garis netral dalam kondisi balance

$$X_b = \left( \frac{600}{600 + F_y} \right) x d$$

$$= \left( \frac{600}{600 + 400} \right) x 389$$

$$= 233,4 \text{ mm}$$

- Garis netral maksimum  

$$X_{\max} = 0,75 \times X_b$$

$$= 0,75 \times 233,4$$

$$= 175,05 \text{ mm}$$
- Garis netral minimum  

$$X_{\min} = d'$$

$$= 61 \text{ mm}$$
- Garis netral rencana (asumsi)  

$$X_{\text{rencana}} = 80 \text{ mm}$$
- Komponen beton tertekan  

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}$$

$$C_c' = 0,85 \times 25 \times 300 \times 0,85 \times 80$$

$$C_c' = 433500 \text{ N}$$
- Luas tulangan Tarik  

$$A_{sc} = \frac{C_c'}{F_y}$$

$$= \frac{433500}{400}$$

$$= 1084 \text{ mm}^2$$
- Momen nominal tulangan lentur tunggal  

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right)$$

$$= 1084 \times 400 \times \left( 389 - \frac{0,85 \times 80}{2} \right)$$

$$= 153892500 \text{ Nmm}$$
- a. Daerah Tumpuan  
Momen tumpuan = 79082919 Nmm
  - Momen lentur nominal ( $M_n$ )  

$$M_{u_{\text{tumpuan}}} = 79082919 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{ux}}{\phi}$$

$$= \frac{79082919}{0,8}$$

$$= 87869909,99 \text{ Nmm}$$

- Cek momen nominal tulangan lentur rangkap  
 Syarat :  
 $M_{ns} > 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan  
 $M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan  
 $M_{ns} = M_n - M_{nc}$   
 $= 87869909,99 - 153892500$   
 $= -66022590 \text{ Nmm}$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$$M_{ns} = -66022590 < 0$$

$\rightarrow$  (Tidak memerlukan tulangan lentur tekan)

- ❖ Jadi analisis berikutnya untuk perhitungan balok digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

#### Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,8$$

Menurut **SNI 2847:2013 pasal 10.5.1**, syarat  $\rho_{min}$  :

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{F_y} = \frac{0,25 \sqrt{25}}{400} = 0,003125$$

yang menentukan  $\rho_{min} = 0,003125$

$$\rho_{max} = 0,025 \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1})$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{79082919}{0,9 \times 300 \times 389^2} = 1,94 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{F_y}} \right] \\ &= \frac{1}{18,8} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,8 \times 1,94}{400}} \right] \\ &= 0,0051\end{aligned}$$

Kontrol Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0031 < 0,0051 < 0,025 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- Luasan perlu (As perlu) tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0051 \times 300 \times 389 \\ &= 593,085 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Luasan tulangan puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur tarik

$$\frac{A_l}{4} = 98,658 \text{ mm}^2$$

- Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$\begin{aligned}A_s \text{ perlu} &= A_s \text{ perlu tul. Lentur tarik} + A_s \text{ tul. Puntir untuk tul. lentur tarik} \\ &= 593,085 \text{ mm}^2 + 98,658 \text{ mm}^2 \\ &= 691,743 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Jumlah tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned}n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_{s \text{ Dlentur}}} \\ &= \frac{691,743}{\frac{1}{4} \pi 16^2} = 3,4 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}\end{aligned}$$

- Luasan tulangan lentur tarik
 
$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \pi \times 16^2 \\ &= 804,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol syarat:  
 $\text{As pasang} > \text{As perlu}$   
 $804,25 \text{ mm}^2 > 691,743 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$
- Luasan pasang ( $\text{As}'$ ) tulangan lentur tekan
 
$$\begin{aligned} \text{As' perlu} &= \text{Luasan tulangan lentur tarik} + \text{luas} \\ &\quad \text{tambahan torsi longitudinal sisi atas} \\ &\quad \text{balok} \\ &= \text{As} + \frac{\text{At}}{4} \\ &= 0 + 98,658 = 98,658 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$
- Jumlah tulangan lentur tekan
 
$$\begin{aligned} \text{As perlu} \\ n &= \frac{\text{Luasan D lentur}}{98,658} \\ &= \frac{1}{4} \pi 16^2 \\ &= 0,49 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$
- Luasan tulangan lentur tekan
 
$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \pi \times 16^2 \\ &= 402,13 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol Syarat:  
 $\text{As pasang} > \text{As perlu}$   
 $402,13 \text{ mm}^2 > 98,658 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$
- Kontrol jarak spasi tulangan pakai
 

Direncanakan :

  - ✓ Tulangan tarik = 1 lapis (4D16)
  - ✓ Tulangan tekan = 1 lapis (2D16)

Kontrol tulangan tarik 1 lapis

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n-1}$$

$$= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (4 \times 16)}{4-1}$$

$$= 43,3 \text{ mm}$$

$S_{\max} \geq S$  syarat agregat

$43,3 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \rightarrow (\text{Memenuhi})$

Kontrol tulangan tekan 1 lapis

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n-1}$$

$$= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (2 \times 16)}{2-1}$$

$$= 162 \text{ mm}$$

$S_{\max} \geq S$  syarat agregat

$162 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \rightarrow (\text{Memenuhi})$

- Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik terpenuhi ( $S_{\max} \geq 25 \text{ mm}$ ) , maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis

- o Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negative yang disediakan pada muka joint tersebut. Baik kekuatan momen negatif pada sebarang penampang sepanjang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint tersebut.

$M \text{ lentur tumpuan}(+) \geq 1/2 \times M \text{ lentur tumpuan}(-)$

**(SNI 2847:2013, Pasal 21.5.2.2)**

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 804,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 402,13 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ lentur tumpuan}(+) &\geq 1/2 \times M \text{ lentur tumpuan}(-) \\ 402,13 \text{ mm}^2 &\geq 1/2 \times 804,25^2 \\ 402,13 \text{ mm}^2 &\geq 402,13 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)} \end{aligned}$$

○ Kontrol Kemampuan Penampang

Tinggi balok tegangan persegi ekuivalen

$$\alpha = \frac{A_{s \text{ pakai}} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{804,25 \times 400}{0,85 \times 25 \times 300} = 50,5 \text{ mm}$$

Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{\alpha}{\beta_1} = \frac{50,5}{0,85} = 59,37 \text{ mm}$$

$$0,375 \text{ dt} = 0,375 \times 392 = 147 \text{ mm}$$

Syarat :

$$c \leq 0,375 \text{ dt} \rightarrow \text{kondisi terkontrol Tarik}$$

$$59,37 \text{ mm} \leq 147 \text{ mm} \text{ (asumsi benar, } \phi = 0,9)$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 804,25 \times 400 \times \left(389 - \frac{50,5}{2}\right) \\ &= 117024058,6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka:

$$M_n \text{ pasang} > M_n \text{ perlu}$$

$$117024058,6 \text{ Nmm} > 87869909,9 \text{ Nmm} \rightarrow \text{memenuhi}$$

❖ Maka pada balok lift untuk daerah tumpuan:

✓ Tulangan lentur tarik susun 1 lapis

$$\text{Lapis 1} = 4D16$$



- ✓ Tulangan lentur tekan susun 1 lapis  
Lapis 1= 2D16

b. Daerah Lapangan

Momen lapangan = 31723860,48 Nmm

- Momen lentur nominal ( $M_n$ )

$$M_{u_{\text{lapangan}}} = 31723860,48 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_{ux}}{\phi} \\ &= \frac{31723860,48}{0,9} \\ &= 35248733,87 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 35248733,87 - 153892500 \\ &= -118643766,1 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$$M_{ns} = -118643766,1 < 0$$

$\rightarrow$  (Tidak memerlukan tulangan lentur tekan)

- ❖ Jadi analisis berikutnya untuk perhitungan balok digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,8$$

Menurut **SNI 2847:2013 pasal 10.5.1**, syarat  $\rho_{\min}$  :

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{F_y} = \frac{0,25 \sqrt{25}}{400} = 0,003125$$

yang menentukan  $\rho_{\min} = 0,003125$

$\rho_{\max} = 0,025$  (**SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1**)

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{31723860,48}{0,9 \times 300 \times 389^2} = 0,78 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right] \\ &= \frac{1}{18,8} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,8 \times 0,78}{400}} \right] \\ &= 0,00198 \end{aligned}$$

Kontrol Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0031 < 0,00198 < 0,025 \rightarrow (\text{Tidak Memenuhi})$$

- Luasan perlu (As perlu) tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0031 \times 300 \times 389 \\ &= 364,688 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luasan tulangan puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur tarik

$$\frac{A_l}{4} = 98,66 \text{ mm}^2$$

- Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= A_{s \text{ perlu tul. Lentur tarik}} + A_{s \text{ tul. Puntir untuk tul. lentur tarik}} \\ &= 364,688 \text{ mm}^2 + 98,66 \text{ mm}^2 \\ &= 463,345 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan D lentur}} \\
 &= \frac{463,345}{\frac{1}{4}\pi 16^2} \\
 &= 2,3 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

- Luasan tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\
 &= 603,19 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol Syarat:

As pasang > As perlu

$$603,19 \text{ mm}^2 > 463,345 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- Luasan pasang (As') tulangan lentur tekan

As' perlu = Luasan tulangan lentur tarik + luasan tambahan torsi longitudinal sisi atas balok

$$\begin{aligned}
 &= A_s + \frac{A_t}{4} \\
 &= 0 + 98,66 = 98,66 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan D lentur}} \\
 &= \frac{98,66}{\frac{1}{4}\pi 16^2} \\
 &= 0,491 \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

- Luasan tulangan lentur tekan  

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \pi \times 16^2 \\ &= 402,13 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol Syarat:

As pasang > As perlu

$402,13 \text{ mm}^2 > 98,66 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$

- Kontrol jarak spasi tulangan pakai  
 Direncanakan :  
 ✓ Tulangan tarik = 1 lapis (3D16)  
 ✓ Tulangan tekan = 1 lapis (2D16)

Kontrol tulangan tarik 1 lapis

$$\begin{aligned} S_{\max} &= \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n-1} \\ &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (3 \times 16)}{3-1} \\ &= 73 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S_{\max} \geq S \text{ syarat agregat}$

$73 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \rightarrow (\text{Memenuhi})$

Kontrol tulangan tekan 1 lapis

$$\begin{aligned} S_{\max} &= \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n-1} \\ &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (2 \times 16)}{2-1} \\ &= 162 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S_{\max} \geq S \text{ syarat agregat}$

$162 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \rightarrow (\text{Memenuhi})$

- Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik terpenuhi ( $S_{\max} \geq 25 \text{ mm}$ ) , maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis

- Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negative yang disediakan pada muka joint tersebut. Baik kekuatan momen negatif pada sebarang penampang sepanjang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint tersebut.

$$M \text{ lentur lapangan}(+) \geq 1/4 \times M \text{ lentur tumpuan}(-)$$

*(SNI 2847:2013, Pasal 21.5.2.2)*

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \pi \times 16^2 \\ &= 804,248 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \pi \times 16^2 \\ &= 402,13 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ lentur lapangan}(+) &\geq 1/4 \times M \text{ lentur tumpuan } (-) \\ 603,19 \text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{4} \times 804,248 \text{ mm}^2 \\ 603,19 \text{ mm}^2 &\geq 201,062 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)} \end{aligned}$$

- Kontrol Kemampuan Penampang

$$\alpha = \frac{A_{s \text{ pakai}} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{603,19 \times 400}{0,85 \times 25 \times 300} = 37,8 \text{ mm}$$

Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{\alpha}{\beta_1} = \frac{50,5}{0,85} = 44,53 \text{ mm}$$

$$0,375 \text{ dt} = 0,375 \times 389 = 146 \text{ mm}$$

Syarat :

$$c \leq 0,375 \text{ dt} \rightarrow \text{kondisi terkontrol Tarik}$$

$$44,53 \text{ mm} \leq 146 \text{ mm} \text{ (asumsi benar, } \emptyset = 0,9)$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \times F_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 603,186 \times 400 \times \left( 390 - \frac{37,8}{2} \right) \\ &= 89531234,5 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka:

$M_n \text{ pasang} > M_n \text{ perlu}$

$89531234,5 \text{ Nmm} > 39654825,6 \text{ Nmm} \rightarrow \text{memenuhi}$

❖ Maka pada balok anak untuk daerah lapangan:

✓ Tulangan lentur tarik susun 1 lapis

Lapis 1 = 3D16

✓ Tulangan lentur tekan susun 1 lapis

Lapis 1 = 2D16

#### 4.4.4.4. Perhitungan Penulangan Geser

○ Data perencanaan :

Dimensi balok (b balok) = 300 mm

Dimensi balok (h balok) = 450 mm

Kuat tekan beton ( $f_c'$ ) = 25 MPa

Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ ) = 240 MPa

Diameter tul. geser (D geser) = 13 mm

$\beta_1$  = 0,85

Faktor reduksi kekuatan geser = 0,75

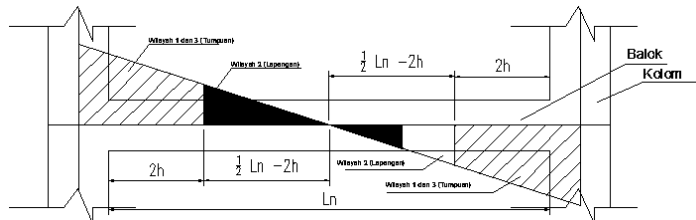
○ Berdasarkan hasil output dari analisa ETABS dan diagram gaya dalam:

$V_u = 89999,9 \text{ N}$

○ Pembagian Wilayah Geser Balok

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkan) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

1. Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang  
(SNI 2847:2013 Pasal 21.3)
2. Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke  $\frac{1}{2}$  bentang balok.



**Gambar 4. 16** Pembagian Wilayah Geser Pada Balok

- Syarat Kuat Tekan Beton ( $f_c'$ )  
 Nilai  $\sqrt{f_c'}$  yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3 MPa (SNI 2847:2013 pasal 11.1.2)  
 $\sqrt{f_c'} < 8,3$   
 $\sqrt{25} < 8,3$   
 $5 < 8,3 \rightarrow (\text{Memenuhi})$
- Kuat Geser Balok  
 Kuat Geser Tulangan  
 (SNI 2847:2013 Pasal 11.2.1.1)  
 $V_{s \min} = 0,33 \times b \times d$   
 $= 0,33 \times 300 \times 389$   
 $= 38900 \text{ N}$
- Penulangan Geser Balok
  1. Pada Wilayah 1 dan 3 (Daerah Tumpuan)  
 (SNI 2847:2013 pasal 21.5)  
 Gaya geser diperoleh dari :

$$a = \left( \frac{A_s \cdot F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left( \frac{804,25 \times 400}{0,85 \times 25 \times 300} \right)$$

$$a = 50,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr1} &= A_s \times f_y \times 1,25 \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 804,25 \times 400 \times 1,25 \times \left( 389 - \frac{50,5}{2} \right) \\ &= 146280073,3 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$a = \left( \frac{A_s \cdot F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left( \frac{402,12 \times 400}{0,85 \times 25 \times 300} \right)$$

$$a = 25,2 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr2} &= A_s \times f_y \times 1,25 \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 402,12 \times 400 \times 1,25 \times \left( 389 - \frac{25,2}{2} \right) \\ &= 75877625,6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{\ln} + \frac{W_u \times \ln}{2} \\ &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{\ln} + V_u \\ &= \frac{146682197,1 + 75877625,6}{2700} + 8999,9 \\ &= 172206,05 \text{ N} \end{aligned}$$

Pada SNI 2847:2013 pasal 21.5.4.2 pada daerah tumpuan harus diasumsikan  $V_e = 0$ , jika keduanya (a) dan (b) terjadi :

(a) Gaya geser yang ditimbulkan gempa  $V_e$  mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum

$$V_e > \frac{1}{2} V_u$$

$$172206,052 \text{ N} > \frac{1}{2} 8999,9 \text{ N}$$

$$172206,052 \text{ N} > 44999,9 \text{ N (OKE)}$$



- (b) Gaya tekan aksial terfaktor  $P_u$  termasuk pengaruh gempa kurang dari  $A_g f'_c / 20$   
 Nilai  $P_u$  pada balok = 0 (OKE)

$$\begin{aligned} V_s \text{ perlu} &= \frac{V_e - \phi V_c}{\phi} \\ &= \frac{172206,052 \text{ N} - 0,75 \times 0 \text{ N}}{0,75} \\ &= 229608 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat :

$$V_s \text{ min} < V_s \text{ perlu}$$

$$38900 \text{ N} < 229608 \text{ N} \rightarrow \text{memenuhi}$$

- Direncanakan:

$$\phi \text{ geser} = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah kaki} = 2 \text{ kaki}$$

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \times \pi \times d^2) \times n \text{ kaki} \\ &= (0,25 \times \pi \times 13^2) \times 2 \\ &= 265,46 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Perhitungan penulangan geser dengan penambahan nilai torsi dihitung berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2 maka didapatkan hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_{yt} \times d} \\ &= \frac{229608}{280 \times 390} \\ &= 2,11 \text{ mm}^2/\text{mm} \\ \frac{A_{vt}}{s} &= \frac{2 \times A_t}{s} + \frac{A_v}{s} \\ &= 2 \times 0,5 + 2,11 \\ &= 3,11 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

- Jarak Tulangan Geser Perlu (Sperlu)

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{A_v}{A_{vt}/s} \\
 &= \frac{265,46}{3,11} \\
 &= 85,42 \text{ mm} \approx 80 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka : dipasang jarak 80 mm antar tulangan geser

Syarat :

$$A_v \geq (0,35 \cdot b_w \cdot s) / f_{yt}$$

$$265,46 \text{ mm}^2 \geq (0,35 \cdot 300 \cdot 80) / 280 \text{ mm}^2$$

$$265,46 \text{ mm}^2 \geq 30 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

- Cek Syarat SRPMK Untuk Kekuatan Geser Balok

Sengkan tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkan tertutup tidak boleh melebihi yang terkecil dari a), b) dan c):

a)  $d/4$

b) Enam kali diameter tulangan longitudinal

c) 150 mm

**(SNI 2847:2013 Pasal 21.5.3.2)**

Kontrol:

$$\begin{aligned}
 \text{a) } S &\text{ pakai } < \frac{d}{4} \\
 80 \text{ mm} &< \frac{389 \text{ mm}}{4} \\
 80 \text{ mm} &< 97,25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b) } S &\text{ pakai } < 6 D \text{ lentur} \\
 80 \text{ mm} &< 96 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c) } S &\text{ pakai } < 150 \text{ mm} \\
 80 \text{ mm} &< 150 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

- ❖ Jadi digunakan tulangan geser untuk daerah tumpuan balok D13-80 mm dengan sengkan 2 kaki

2. Pada Wilayah 2 (Daerah Lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\frac{V_{e2}}{\frac{1}{2} \ln-2h} &= \frac{V_{e1}}{\frac{1}{2} \ln} \\ V_{e2} &= \frac{V_{e1} \times \left(\frac{1}{2} \ln-2h\right)}{\frac{1}{2} \ln} \\ &= \frac{172206,05 \text{ N} \times \left(\frac{1}{2} \times 2700 - 2 \times 450\right)}{\frac{1}{2} 2700} \\ &= 57402,017 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{25} \times 300 \times 389 \\ &= 99195 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_s \text{ perlu} &= \frac{V_e - \phi V_c}{\phi} \\ &= \frac{57402,17 \text{ N} - 0,75 \times 99125 \text{ N}}{0,75} \\ &= -22659 \text{ N}\end{aligned}$$

Syarat :

$$V_s \text{ min} > V_s \text{ perlu}$$

$$38900 \text{ N} < -22659 \text{ N} \rightarrow \text{digunakan } V_s \text{ min}$$

○ Direncanakan :

$$\begin{aligned}\phi \text{ geser} &= 13 \text{ mm} \\ \text{Jumlah kaki} &= 2 \text{ kaki} \\ A_v &= (0,25 \times \pi \times d^2) \times n \text{ kaki} \\ &= (0,25 \times \pi \times 13^2) \times 2 \\ &= 265,465 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Penambahan nilai torsi dihitung berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2 maka didapatkan hasil sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_{yt} \times d} \\ &= \frac{38900}{280 \times 389} \\ &= 0,36 \text{ mm}^2/\text{mm} \\ \frac{A_{vt}}{s} &= \frac{2 \times A_t}{s} + \frac{A_v}{s} \\ &= 2 \times 0,5 + 0,36 \\ &= 1,36 \text{ mm}^2/\text{mm}\end{aligned}$$

- Jarak Tulangan Geser Perlu (Sperlu)

$$\begin{aligned}s &= \frac{A_v}{A_{vt}/s} \\ &= \frac{265,465}{1,36} \\ &= 195,7 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka : dipasang jarak 150 mm antar tulangan geser

Syarat :

$$\begin{aligned}A_v &\geq (0,35 \cdot b_w \cdot s) / f_{yt} \\ 265,465 \text{ mm}^2 &\geq (0,35 \cdot 300 \cdot 150) / 280 \text{ mm}^2 \\ 265,465 \text{ mm}^2 &\geq 56 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})\end{aligned}$$

- Cek Syarat SRPMK Untuk Kekuatan Geser Balok

Spasi tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur tidak boleh melebihi  $d/2$  pada komponen struktur non-prategang dan  $0,75h$  pada komponen struktur prategang ataupun 600 mm

**(SNI 2847:2013 Pasal 11.4.5.1)**

Kontrol:

$$S \text{ pakai} < \frac{d}{2}$$

$$150 \text{ mm} < \frac{389 \text{ mm}}{2}$$

$$150 \text{ mm} < 189,4 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

$$S \text{ pakai} < 600 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Jadi digunakan tulangan geser untuk daerah lapangan balok D13-150 mm dengan sengkang 2 kaki

#### 4.4.4.5. Perhitungan Panjang Penyaluran

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12, sebagai berikut :

- Penyaluran Kait Standar Kondisi Tarik

Panjang penyaluran kait standar kondisi tarik dihitung berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.5.2, sebagai berikut :

$$l_{dh} = \frac{\left( \frac{0,24 \psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) db}{16 \times \sqrt{25}}$$

$$l_{dh} = \frac{\left( \frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \times \sqrt{25}} \right) db}{16 \times \sqrt{25}}$$

$$l_{dh} = 307 \text{ mm} \approx 350 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_{dh} > 8d_b \quad \text{atau} \quad l_{dh} > 150 \text{ mm}$$

$$350 > 128 \text{ mm} \quad \text{atau} \quad 350 > 150 \text{ mm} \rightarrow \text{memenuhi}$$

Panjang kait

$$12d_b = 12(19) = 192 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

❖ Maka dipakai kait  $l_{dh}$  sepanjang 310mm dengan tambahan kait  $90^\circ$  sepanjang 250 mm

○ Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tarik

Sesuai dengan SNI 3847:2013 pasal 12.2.1 bahwa untuk batang tulangan atau kawat ulir dengan D-22 atau lebih kecil,  $l_d$  harus dihitung dengan rumus dibawah ini :

$$l_d = \left[ \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right] d_b$$

$$l_d = \left[ \frac{400 \times 1 \times 1,5}{1,7 \times 1 \sqrt{25}} \right] 16$$

$$l_d = 1129,41 \text{ mm}$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih):

$$l_d \text{ reduksi} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} l_d$$

$$= \frac{763,4}{804,2} 1129,41$$

$$= 1107 \text{ mm}$$

Direncanakan

$$l_d = 1200 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_d = 1200 \text{ mm} > 3,25 l_{dh}$$

$$l_d = 1200 \text{ mm} > 1137,5 \text{ mm} \rightarrow (\text{memenuhi})$$

❖ Maka panjang penyaluran dalam kondisi tarik 1200 mm

○ Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tekan

Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.3.2, sebagai berikut :

$$l_{dc} = \left( \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b \quad \text{atau } l_{dc} = (0,043 \times f_y) d_b$$

$$l_{dc} = \left( \frac{0,24 \times 400}{1 \times \sqrt{25}} \right) 16 \quad \text{atau } l_{dc} = (0,043 \times 400) 16$$

$$l_{dc} = 364,8 \text{ mm} \quad \text{atau } l_{dc} = 326,8 \text{ mm}$$

$l_{dc}$  perlu dipilih dengan nilai terbesar, maka digunakan  $l_{dc}$  perlu = 364,8 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih):

$$l_{dc} \text{ reduksi} = \frac{A_s' \text{ perlu}}{A_s' \text{ pasang}} l_d$$

$$= \frac{402,1}{402,1} 364,8$$

$$= 365 \text{ mm}$$

Direncanakan

$$l_d = 400 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_{dc} = 400 \text{ mm} > l_{dc} \text{ reduksi}$$

$$l_{dc} = 400 \text{ mm} > 365 \text{ mm} \rightarrow (\text{memenuhi})$$

$$l_{dc} = 400 \text{ mm} > 200 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 400 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \rightarrow (\text{memenuhi})$$

○ Penyaluran Tulangan Momen Negatif

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.12.3. Paling sedikit sepertiga tulangan tarik total yang dipasang untuk momen negatif pada tumpuan harus mempunyai panjang penanaman melewati titik belok tidak kurang dari  $d$ ,  $12d_b$ , dan  $l_n/16$ , yang mana yang lebih besar.

Dimana :

$$d = 390 \text{ mm}$$

$$12d_b = 12 \cdot 16 \text{ mm} = 192 \text{ mm}$$

$$L_n/16 = (3000 \text{ mm} - 600 \text{ mm})/16 = 150 \text{ mm}$$

Hasil perhitungan yang lebih besar adalah 390 mm, maka digunakan penyaluran momen negative = 400 mm

- Kait Standar untuk Sengkang  
Untuk tulangan D25 dan yang lebih kecil, bengkokan 135 derajat ditambah perpanjangan  $6d_b$  pada ujung bebas batang tulangan.  
 $6d_b = 6 \cdot 12 \text{ mm}$   
 $= 72 \text{ mm} \geq 75 \text{ mm}$   
Digunakan panjang kait 75 mm

**Tabel 4. 30** Rekapitulasi Penulangan Balok Anak

Jenis Balok	Letak	Tul. Lentur		Tul. Geser	Tul. Torsi
		Negatif	Positif		
BA 1 (30/40)	Tumpuan	4 D16	2 D16	2D13-80	2 D13
	Lapangan	3 D16	2 D16	2D13-150	
BA 2 (25/35)	Tumpuan	4 D16	2 D16	2D12-70	2 D13
	Lapangan	3 D16	2 D16	2D12-120	

BALOK ANAK 1 (BA1) 30/45			BALOK ANAK 2 (BA2) 25/35		
TUMPUAN 1	LAPANGAN	TUMPUAN 2	TUMPUAN 1	LAPANGAN	TUMPUAN 2
4D16	2D16	4D16	4D16	2D16	5D16
2D16	3D16	2D16	2D16	3D16	3D16
2D13	2D13	2D13	2D13	2D13	2D13
2D13-80	2D13-150	2D13-80	2D13-70	2D13-120	2D12-70

**Gambar 4. 17** Detail Penulangan Balok Anak



#### 4.4.5. Perencanaan Balok Lift

##### 4.4.5.1. Data Perencanaan

Balok lift merupakan balok yang digunakan untuk keperluan ruang mesin lift. Pada gedung Apartemen Enviro Bekasi, lift penumpang yang digunakan adalah lift yang diproduksi oleh “Iris Elevator” yang memiliki data sebagai berikut :

Tipe Lift = Passenger Elevator

Kapasitas = 11 orang (750 kg)

Lebar pintu (OP) = 800 mm

Dimensi sangkar (*car size*) :

*Inside* = 1600 x 1500

*Hoistway* = 1800 x 2000

Beban ruang mesin :

R1 = 4550 kg = 45,5 kN

R2 = 2900 kg = 29 kN

Untuk lebih jelasnya mengenai spesifikasi lift berikut disajikan dalam tabel 4.29 :

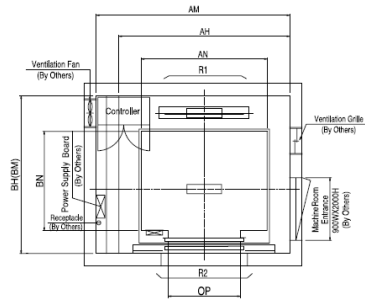
**Tabel 4. 31** Spesifikasi Passenger Elevator

[Standard]

(Unit : mm)

Speed (m/s)	Capacity		Entrance Opening (mm)	Car Size		Hoistway Size				Machine Room Size				Reaction Load(kg)			
						Simplex		Duplex		Simplex		Duplex		Machine Room		Pit	
	Person	Load(kg)		AN	BN	AH	BH	AH	BH	AM	BM	AM	BM	R1	R2	R3	R4
1.0	6	450	800	1400	850	1800	1500	3750	1500	1800	1500	3750	1500	3600	2000	3800	3150
	8	550	800	1400	1030	1800	1700	3750	1700	1800	1700	3750	1700	4050	2500	4550	3350
	9	600	800	1400	1100	1800	1750	3750	1750	1800	1750	3750	1750	4100	2500	4700	3450
	10	680	800	1400	1250	1800	1900	3750	1900	1800	1900	3750	1900	4200	2850	5000	3650
	11	750	800	1400	1350	1800	2000	3750	2000	1800	2000	3750	2000	4550	2900	5200	3750
	13	900	900	1600	1350	2000	2000	4150	2000	2000	2000	4150	2000	5100	3800	6300	4500
	15	1000	900	1600	1500	2000	2150	4150	2150	2000	2150	4150	2150	5450	4300	6600	4700
	17	1150	1000	1800	1500	2350	2200	4850	2200	2350	2200	4850	2200	8000	5200	9550	7150
	20	1350	1000	2000	1350	2550	2050	5250	2050	2550	2050	5250	2050				
	24	1600	1100	2000	1800	2350	2400	4850	2400	2350	2400	4850	2400	8900	6000	10200	7500
			1100	2000	1500	2550	2200	5250	2200	2550	2200	5250	2200	10200	7000	10950	8700
				2150	1600	2700	2300	5550	2300	2700	2300	5550	2300				

[Simplex]

**Gambar 4. 18** Denah Lift

Data desain balok lift :

- Mutu beton ( $F_c'$ ) = 25 MPa
- Tinggi balok ( $h$ ) = 45 cm = 450 mm
- Lebar balok ( $b$ ) = 30 cm = 300 mm
- Selimut beton = 40 mm
- D tulangan lentur = 16 mm  
Mutu baja ( $F_y$ ) = 400 MPa
- $\emptyset$  tulangan sengkang = 10 mm  
Mutu baja ( $F_y$ ) = 280 MPa
- $\beta_1$  = 0,85

Perencanaan dimensi balok lift :

- Untuk balok dengan panjang 325 cm

$$h_{min} = \frac{L}{16} \left( 0,4 + \frac{f_y}{700} \right) = \frac{325}{16} \left( 0,4 + \frac{400}{700} \right) = 19,73 \approx 45 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} \times h = \frac{2}{3} \times 45 = 30 \approx 30 \text{ cm}$$

Tinggi Manfaat Rencana :

- $d = h - \text{decking} - \varnothing \text{Sengkang} - (\frac{1}{2} \varnothing_{\text{lentur}})$   
 $= 450\text{mm} - 40\text{ mm} - 13\text{mm} - (\frac{1}{2} \times 16\text{mm}) = 392\text{ mm}$
- $d' = \text{decking} + \varnothing \text{Sengkang} + (\frac{1}{2} \varnothing_{\text{lentur}})$   
 $= 40\text{ mm} + 10\text{ mm} + (\frac{1}{2} \times 16\text{ mm}) = 58\text{ mm}$

#### 4.4.5.2. Analisa Gaya Dalam Balok Lift

Balok lift yang tertumpu jepit pada kedua tumpuannya menjadikan balok tersebut tergolong mekanika statis tak tentu, sehingga penyelesaian analisis gaya dalamnya tidak dapat diselesaikan secara sederhana. Oleh karena itu, dalam mencari gaya dalam balok lift digunakan program bantu analisis sehingga didapatkan gaya dalam sebagai berikut :

Torsi	: 2742913,9 Nmm
Momen Tumpuan	: 41073582 Nmm
Momen Lapangan	: 74144260 Nmm
Geser	: 103085,48 N

#### 4.4.5.3. Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil output ETABS diperoleh momen puntir terbesar :

- Momen Puntir Ultimate :  
 $T_u = 2742913,9\text{ Nmm}$
- Geser Ultimate  
 $V_u = 103085,48\text{ N}$
- Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton  
 $A_{cp} = b \times h$   
 $= 300\text{ mm} \times 450\text{ mm}$   
 $= 135000\text{ mm}^2$

- Perimeter luasan irisan penampang beton  $A_{cp}$

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2x(b+h) \\ &= 2x(300 \text{ mm}+450 \text{ mm}) \\ &= 1500 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok}-2t_{decking}-D_{geser})x(h_{balok}-2t_{decking}-D_{geser}) \\ &= (300\text{mm}-(2x40\text{mm})-10\text{mm})x(450\text{mm}- \\ &\quad (2x40\text{mm})-10\text{mm}) \\ &= 75600 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} P_h &= 2x((b_{balok}-2t_{decking}-D_{geser})+(h_{balok}-2t_{decking}- \\ &\quad D_{geser})) \\ &= 2x(300\text{mm}-(2x40\text{mm})-10\text{mm})x(450\text{mm}- \\ &\quad (2x40\text{mm})-10 \text{ mm}) \\ &= 1140 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor  $T_u$  besarnya kurang dariada:

$$T_{u_{min}} = \phi 0,083\lambda\sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$T_{u_{min}} = 0,75 \times 0,083 \times 1\sqrt{25} \left( \frac{135000^2}{1500} \right)$$

$$T_{u_{min}} = 3796875 \text{ Nmm}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$$T_{u_{min}} < T_u$$

$$3796875 \text{ Nmm} > 2742913,9 \text{ Nmm}$$

→tidak memerlukan tulangan puntir

❖ Jadi, penampang balok tidak memerlukan penulangan puntir

Sehingga, momen punter nominal

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{3796875 \text{ Nmm}}{0,75} = 5062500 \text{ Nmm}$$

- Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir  
Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{B_w.d}\right)^2 + \left(\frac{T_u.P_h}{1,7A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left( \frac{\frac{1}{6}\sqrt{f_c'} \times b_w \times d}{B_w.d} + \frac{2\sqrt{f_c'}}{3} \right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{103085,48}{450 \times 392}\right)^2 + \left(\frac{5062500 \times 1140}{1,7(76744)^2}\right)^2} \leq 0,75 \left( \frac{\frac{1}{6}\sqrt{25} \times 300 \times 392}{300 \times 392} + \frac{2\sqrt{25}}{3} \right)$$

$0,877 < 3,125 \rightarrow$  Memenuhi

- ❖ Jadi, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir

- Perhitungan Tulangan Puntir Untuk Lentur

Untuk menahan puntir sesuai dengan **SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.7** direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_l = \frac{A_t}{s} P_h \left( \frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \theta$$

Dengan  $\frac{A_t}{s}$  dihitung sesuai dengan **SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6** berasal dari persamaan di bawah :

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_t \times F_{yt}}{s} \cot^2 \theta$$

Untuk beton non prategang  $\theta = 45^\circ$

Dimana,

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 75600 \text{ mm}^2 \\ &= 64260 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times f_{yt} \times \cot(\theta)}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{5062500}{2 \times 64260 \times 280 \times \cot(45)}$$

$$\frac{A_t}{s} = 0,141 \text{ mm}$$

$$A_l = 0,12 \times 1140 \times \left(\frac{240}{400}\right) \cot^2 45$$

$$A_l = 112,26 \text{ mm}^2$$

❖ Jadi, tulangan puntir untuk lentur 112,26 mm<sup>2</sup>

- Sesuai dengan **SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3** tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan ketentuan

$$\begin{aligned} A_l \text{ min} &= \frac{0,42\sqrt{f_c'} \times A_{cp}}{F_y} - \left(\frac{A_t}{s}\right) P_h \frac{F_{yt}}{F_y} \\ &= \frac{0,42\sqrt{25} \times 135000}{400} - 0,12 \times 1140 \frac{280}{400} \\ &= 590,86 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dengan  $\frac{A_t}{s}$  tidak boleh kurang dari :  $0,175 \frac{b_w}{f_{yt}}$

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &> 0,175 \frac{b_w}{f_{yt}} \\ 0,14 &> 0,175 \frac{300}{280} \end{aligned}$$

0,14 > 0,188 → Memenuhi

Kontrol :

$A_l \text{ perlu} \geq A_l \text{ min}$  → gunakan  $A_l \text{ perlu}$

$112,26 \leq 590,86$  → gunakan  $A_l \text{ min}$

❖ Jadi, tulangan puntir perlu sebesar 590,86 mm<sup>2</sup>

- Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok

$$\frac{A_l}{4} = \frac{590,86}{4} = 147,715 \text{ mm}^2$$

pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok  
 pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok

❖ Maka :

- Sisi atas dan sisi bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar =

$$2 \times \frac{A_l}{4} = 2 \times \frac{590,86}{4} = 295,43 \text{ mm}^2$$

- Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$n = \frac{A_s}{\text{Luasan D puntir}}$$

$$n = \frac{295,43 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \pi 16^2}$$

$$n = \frac{295,43 \text{ mm}^2}{201,06}$$

$$= 1,5 \approx 2 \text{ buah}$$

❖ Jadi, dipasang tulangan puntir 2D16

- Luasan tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$A_s = n \times \text{Luasan D puntir}$$

$$= 2 \times 0,25 \pi 16^2$$

$$= 402,124 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$

$$402,12^2 \geq 295,43 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

❖ Jadi, dipasang tulangan puntir ditumpuan kiri, lapangan, dan tumpuan kanan sebesar 2D16

#### 4.4.2.5. Perhitungan Penulangan Lentur

- Garis netral dalam kondisi balance

$$X_b = \left( \frac{600}{600 + F_y} \right) \times d$$

$$= \left( \frac{600}{600+400} \right) \times 392$$

$$= 235,2 \text{ mm}$$

- Garis netral maksimum  

$$X_{\max} = 0,75 \times X_b$$

$$= 0,75 \times 235,2$$

$$= 176,4 \text{ mm}$$
- Garis netral minimum  

$$X_{\min} = d'$$

$$= 58 \text{ mm}$$
- Garis netral rencana (asumsi)  

$$X_{\text{rencana}} = 80 \text{ mm}$$
- Komponen beton tertekan  

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}$$

$$C_c' = 0,85 \times 25 \times 300 \times 0,85 \times 80$$

$$C_c' = 433500 \text{ N}$$
- Luas tulangan Tarik  

$$A_{sc} = \frac{C_c'}{F_y}$$

$$= \frac{433500}{400}$$

$$= 1084 \text{ mm}^2$$
- Momen nominal tulangan lentur tunggal  

$$M_{nc} = A_{sc} f_{yx} \left( d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right)$$

$$= 1084 \times 400 \times \left( 392 - \frac{0,85 \times 80}{2} \right)$$

$$= 1551939000 \text{ Nmm}$$
- a. Daerah Tumpuan  
Momen tumpuan = 41073582 mm



- Momen lentur nominal ( $M_n$ )

$$M_{u_{tumpuan}} = 41073582 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_{ux}}{\phi} \\ &= \frac{41073582}{0,9} \\ &= 45637313,31 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 45637313,31 - 1551939000 \\ &= -109555687 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$$M_{ns} = -109555687 < 0$$

$\rightarrow$  (Tidak memerlukan tulangan lentur tekan)

❖ Jadi analisis berikutnya untuk perhitungan balok digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

#### Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,8$$

Menurut **SNI 2847:2013 pasal 10.5.1**, syarat  $\rho_{min}$  :

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{F_y} = \frac{0,25 \sqrt{25}}{400} = 0,003125$$

yang menentukan  $\rho_{min} = 0,003125$

$\rho_{max} = 0,025$  (**SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1**)

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{41073582}{0,9 \times 300 \times 392^2} = 0,99 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right] \\ &= \frac{1}{18,8} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,8 \times 0,99}{400}} \right] \\ &= 0,0025\end{aligned}$$

Kontrol Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0031 > 0,0025 < 0,025 \rightarrow (\text{Tidak Memenuhi})$$

- Luasan perlu (As perlu) tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0031 \times 300 \times 392 \\ &= 367,5 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Luasan tulangan puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur tarik

$$\frac{A_l}{4} = 147,72 \text{ mm}^2$$

- Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$\begin{aligned}A_s \text{ perlu} &= A_s \text{ perlu tul. Lentur tarik} + A_s \text{ tul. Puntir untuk tul. lentur tarik} \\ &= 367,5 \text{ mm}^2 + 147,72 \text{ mm}^2 \\ &= 515,22 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Jumlah tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned}n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_{s \text{ Dlentur}}} \\ &= \frac{515,22}{\frac{1}{4} \pi 16^2} \\ &= 2,56 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}\end{aligned}$$

- Luasan tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \pi \times 16^2 \\ &= 804,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol Syarat:

As pasang > As perlu

$$804,25 \text{ mm}^2 > 515,22 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- Luasan pasang (As') tulangan lentur tekan

As' perlu = Luasan tulangan lentur tarik + luasan tambahan torsi longitudinal sisi atas balok

$$\begin{aligned} &= \text{As} + \frac{A_t}{4} \\ &= 0 + 147,72 = 147,72 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan D lentur}} \\ &= \frac{147,72}{\frac{1}{4} \pi 16^2} \\ &= 0,77 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

- Luasan tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \pi \times 16^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol Syarat:

As pasang > As perlu

$$402,12 \text{ mm}^2 > 147,72 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Direncanakan :

$$\checkmark \text{ Tulangan tarik} = 1 \text{ lapis (4D16)}$$

✓ Tulangan tekan = 1 lapis (2D16)

Kontrol tulangan tarik 1 lapis

$$\begin{aligned} S_{\max} &= \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n-1} \\ &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 16)}{4-1} \\ &= 45 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S_{\max} \geq S$  syarat agregat

45 mm  $\geq$  25mm  $\rightarrow$  (Memenuhi)

Kontrol tulangan tekan 1 lapis

$$\begin{aligned} S_{\max} &= \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n-1} \\ &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 16)}{2-1} \\ &= 168 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S_{\max} \geq S$  syarat agregat

168 mm  $\geq$  25mm  $\rightarrow$  (Memenuhi)

- Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik terpenuhi ( $S_{\max} \geq 25\text{mm}$ ), maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis

- o Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok  
Kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negative yang disediakan pada muka joint tersebut. Baik kekuatan momen negatif pada sebarang penampang sepanjang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint tersebut.

$M_{\text{lentur tumpuan}(+) \geq 1/2 \times M_{\text{lentur tumpuan}(-)}$

(SNI 2847:2013, Pasal 21.5.2.2)

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 4 \times 0,25 \pi \times 16^2 \\
 &= 804,24 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \pi \times 16^2 \\
 &= 402,12 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M \text{ lentur tumpuan}(+) &\geq 1/2 \times M \text{ lentur tumpuan}(-) \\
 402,12 \text{ mm}^2 &\geq 1/2 \times 804,24 \text{ mm}^2 \\
 402,12 \text{ mm}^2 &\geq 402,12 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

○ Kontrol Kemampuan Penampang

$$\begin{aligned}
 a &= \left( \frac{\text{As} \cdot F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\
 a &= \left( \frac{804,24 \times 400}{0,85 \times 25 \times 300} \right) \\
 a &= 50,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ pasang} &= \text{As} \times F_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 804,24 \times 400 \times \left( 394 - \frac{50,5}{2} \right) \\
 &= 117989155,9 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka:

$M_n \text{ pasang} > M_n \text{ perlu}$

$117989155,9 \text{ Nmm} > 45637313,31 \text{ Nmm} \rightarrow \text{memenuhi}$

❖ Maka pada balok lift untuk daerah tumpuan:

- ✓ Tulangan lentur tarik susun 1 lapis  
Lapis 1 = 4D16
- ✓ Tulangan lentur tekan susun 1 lapis  
Lapis 1 = 2D16

## b. Daerah Lapangan

Momen lapangan = 74144260 Nmm

- Momen lentur nominal ( $M_n$ )

$$M_{u_{\text{lapangan}}} = 74144260 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_{ux}}{\phi} \\ &= \frac{74144260}{0,9} \\ &= 82382511 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

 $M_{ns} > 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan $M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= 82382511 - 155193000$$

$$= -72810489 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$$M_{ns} = -72810489 < 0$$

 $\rightarrow$  (Tidak memerlukan tulangan lentur tekan)

❖ Jadi analisis berikutnya untuk perhitungan balok digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,8$$

Menurut **SNI 2847:2013 pasal 10.5.1**, syarat  $\rho_{\min}$  :

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{F_y} = \frac{0,25 \sqrt{25}}{400} = 0,003125$$

yang menentukan  $\rho_{\min} = 0,003125$

$$\rho_{\max}=0,025 \text{ (SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1)}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{74144260}{0,9} = 82382511 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{82382511}{300 \times 394^2} = 1,79 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right] \\ &= \frac{1}{18,8} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,8 \times 1,79}{400}} \right] \\ &= 0,00467 \end{aligned}$$

Kontrol Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0031 < 0,00467 < 0,025 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

○

- Luasan perlu (As perlu) tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,00467 \times 300 \times 394 \\ &= 549,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luasan tulangan puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur tarik

$$\frac{A_l}{4} = 147,72 \text{ mm}^2$$

- Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= A_s \text{ perlu tul. Lentur tarik} + A_s \text{ tul. Puntir untuk tul. lentur tarik} \\ &= 549,57 \text{ mm}^2 + 147,72 \text{ mm}^2 \\ &= 697,29 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D \text{ lentur}} \\
 &= \frac{697,29}{\frac{1}{4} \pi 16^2} \\
 &= 3,47 \approx 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

- Luasan tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned}
 As \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\
 &= 804,25 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol Syarat:

$As \text{ pasang} > As \text{ perlu}$

$$804,25 \text{ mm}^2 > 697,29 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- Luasan pasang ( $As'$ ) tulangan lentur tekan

$As' \text{ perlu} = \text{Luasan tulangan lentur tarik} + \text{luasan tambahan torsi longitudinal sisi atas balok}$

$$\begin{aligned}
 &= As + \frac{At}{4} \\
 &= 0 + 147,72 = 147,72 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D \text{ lentur}} \\
 &= \frac{147,72}{\frac{1}{4} \pi 16^2} \\
 &= 0,74 \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$



- Luasan tulangan lentur tekan
 
$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol Syarat:

As pasang > As perlu

$402,12 \text{ mm}^2 > 147,72 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$

- Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Direncanakan :

✓ Tulangan tarik = 1 lapis (4D16)

✓ Tulangan tekan = 1 lapis (2D16)

Kontrol tulangan tarik 1 lapis

$$\begin{aligned} S_{\max} &= \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n-1} \\ &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 16)}{4-1} \\ &= 45,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S_{\max} \geq S \text{ syarat agregat}$

$45,3 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \rightarrow (\text{Memenuhi})$

Kontrol tulangan tekan 1 lapis

$$\begin{aligned} S_{\max} &= \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n-1} \\ &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 16)}{2-1} \\ &= 168 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S_{\max} \geq S \text{ syarat agregat}$

$168 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \rightarrow (\text{Memenuhi})$

- Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik terpenuhi ( $S_{\max} \geq 25 \text{ mm}$ ) , maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis

- Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negative yang disediakan pada muka joint tersebut. Baik kekuatan momen negatif pada sebarang penampang sepanjang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint tersebut.

$$M \text{ lentur lapangan}(+) \geq 1/4 \times M \text{ lentur tumpuan}(-) \\ \text{(SNI 2847:2013, Pasal 21.5.2.2)}$$

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \pi \times 16^2 \\ &= 804,24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \pi \times 16^2 \\ &= 402,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ lentur lapangan}(+) &\geq 1/4 \times M \text{ lentur tumpuan}(-) \\ 408,12 \text{ mm}^2 &\geq 1/4 \times 201,062 \text{ mm}^2 \\ 408,12 \text{ mm}^2 &\geq 201,062 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)} \end{aligned}$$

- Kontrol Kemampuan Penampang

Tinggi balok tegangan persegi ekuivalen

$$\alpha = \frac{A_{spakai} \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{804,25 \times 400}{0,85 \times 25 \times 300} = 50,5 \text{ mm}$$

Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{\alpha}{\beta_1} = \frac{50,5}{0,85} = 59,37 \text{ mm}$$

$$0,375 dt = 0,375 \times 392 = 147 \text{ mm}$$

Syarat :

$$c \leq 0,375 dt \rightarrow \text{kondisi terkontrol Tarik}$$

$$59,37 \text{ mm} \leq 147 \text{ mm} \text{ (asumsi benar, } \emptyset = 0,9)$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \times F_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 804,24 \times 400 \times \left( 392 - \frac{50,5}{2} \right) \\ &= 117989155,9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka:

$M_n \text{ pasang} > M_n \text{ perlu}$

$117989155,9 \text{ Nmm} > 82382511 \text{ Nmm} \rightarrow \text{memenuhi}$

❖ Maka pada balok lift untuk daerah lapangan:

✓ Tulangan lentur tarik susun 1 lapis

Lapis 1 = 4D16

✓ Tulangan lentur tekan susun 1 lapis

Lapis 1 = 2D16

#### 4.4.2.6. Perhitungan Penulangan Geser

○ Data perencanaan :

Tipe balok = Balok Lift

Dimensi balok (b balok) = 300 mm

Dimensi balok (h balok) = 450 mm

Kuat tekan beton ( $f_c'$ ) = 25 MPa

Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ ) = 280 MPa

Diameter tul. geser ( $\emptyset$  geser) = 10 mm

$\beta_1$  = 0,85

Faktor reduksi kekuatan geser = 0,75

○ Berdasarkan hasil output dari analisa ETABS dan diagram gaya dalam:

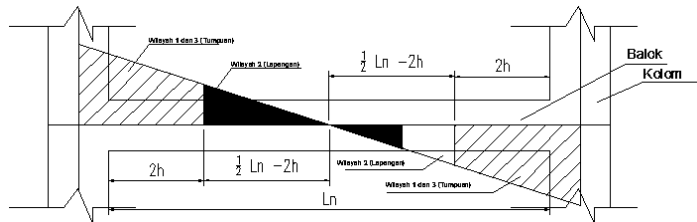
$V_u = 103085,48 \text{ N}$

○ Pembagian Wilayah Geser Balok

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkan) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

1. *Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)*, sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang (**SNI 2847:2013 Pasal 21.3**)

2. Wilayah 2 (*daerah lapangan*), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke  $\frac{1}{2}$  bentang balok.



**Gambar 4. 19** Pembagian Wilayah Geser Pada Balok

- Syarat Kuat Tekan Beton ( $f_c'$ )  
 Nilai  $\sqrt{f_c'}$  yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3 MPa  
**(SNI 2847:2013 pasal 11.1.2)**

$$\sqrt{f_c'} < 8,3$$

$$\sqrt{25} < 8,3$$

$$5 < 8,3 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- Kuat Geser Tulangan  
**(SNI 2847:2013 Pasal 11.2.1.1)**

$$\begin{aligned} V_s \text{ min} &= 0,33 \times b \times d \\ &= 0,33 \times 300 \times 392 \\ &= 39200 \text{ N} \end{aligned}$$

- Penulangan Geser Balok
- 1. Pada Wilayah 1 dan 3 (Daerah Tumpuan)  
**(SNI 2847:2013 pasal 21.5)**

Gaya geser diperoleh dari :

$$\begin{aligned} a &= \left( \frac{A_s \cdot F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\ a &= \left( \frac{804,25 \times 400}{0,85 \times 25 \times 300} \right) \\ a &= 50,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr1} &= A_s \times f_y \times 1,25 \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 804,25 \times 400 \times 1,25 \times \left(392 - \frac{50,5}{2}\right) \\
 &= 147486444,8 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \left( \frac{A_s \cdot F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\
 a &= \left( \frac{402,12 \times 400}{0,85 \times 25 \times 300} \right) \\
 a &= 25,2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr2} &= A_s \times f_y \times 1,25 \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 402,12 \times 400 \times 1,25 \times \left(392 - \frac{25,2}{2}\right) \\
 &= 76279749 \text{ Nmm} \\
 V_e &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{\ln} + \frac{W_u \times \ln}{2} \\
 &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{\ln} + V_u \\
 &= \frac{147486444,8 + 76279749}{3250} + 103085,48 \\
 &= 171936,62 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Pada SNI 2847:2013 pasal 21.5.4.2 pada daerah tumpuan harus diasumsikan  $V_c = 0$ , jika keduanya (a) dan (b) terjadi :

- (a) Gaya geser yang ditimbulkan gempa  $V_e$  mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum

$$\begin{aligned}
 V_e &> \frac{1}{2} V_u \\
 171936,62 \text{ N} &> \frac{1}{2} 103085,48 \text{ N} \\
 171936,62 \text{ N} &> 51542,7 \text{ N (OKE)}
 \end{aligned}$$

- (b) Gaya tekan aksial terfaktor  $P_u$  termasuk pengaruh gempa kurang dari  $A_g f_c' / 20$   
 Nilai  $P_u$  pada balok = 0 (OKE)

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ perlu} &= \frac{V_e - \phi V_c}{\phi} \\
 &= \frac{171936,62 \text{ N} - 0,75 \times 0 \text{ N}}{0,75} \\
 &= 229249 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$V_s \text{ min} < V_s \text{ perlu}$$

$$39200 \text{ N} < 229249 \text{ N} \rightarrow \text{memenuhi}$$

- Direncanakan:

$$\phi \text{ geser} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah kaki} = 2 \text{ kaki}$$

$$\begin{aligned}
 A_v &= (0,25 \times \pi \times d^2) \times n \text{ kaki} \\
 &= (0,25 \times \pi \times 10^2) \times 2 \\
 &= 157,08 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Perhitungan penulangan geser dengan penambahan nilai torsi dihitung berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2 maka didapatkan hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_{yt} \times d} \\
 &= \frac{229249}{280 \times 392} \\
 &= 2,1 \text{ mm}^2/\text{mm} \\
 \frac{A_{vt}}{s} &= \frac{2 \times A_t}{s} + \frac{A_v}{s} \\
 &= 2 \times 0,164 + 2,1 \\
 &= 2,37 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

- Jarak Tulangan Geser Perlu (Sperlu)

$$s = \frac{A_v}{A_{vt}/s}$$

$$= \frac{157,08}{2,37}$$

$$= 66,28 \text{ mm} \approx 60 \text{ mm}$$

Maka : dipasang jarak 60 mm antar tulangan geser

Syarat :

$$A_v \geq (0,35 \cdot b_w \cdot s) / f_{yt}$$

$$157,08 \text{ mm}^2 \geq (0,35 \cdot 450 \cdot 60) / 280 \text{ mm}^2$$

$$157,08 \text{ mm}^2 \geq 23 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

o Cek Syarat SRPMK Untuk Kekuatan Geser Balok

Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi yang terkecil dari a), b) dan c):

a)  $d/4$

b) Enam kali diameter tulangan longitudinal

c) 150 mm

**(SNI 2847:2013 Pasal 21.5.3.2)**

Kontrol:

a) S pakai  $< \frac{d}{4}$

$$50 \text{ mm} < \frac{394 \text{ mm}}{4}$$

$$50 \text{ mm} < 98,5 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

b) S pakai  $< 6 D$  lentur

$$50 \text{ mm} < 96 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

c) S pakai  $< 150 \text{ mm}$

$$50 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

❖ Jadi digunakan tulangan geser untuk daerah tumpuan balok Ø8-50 mm dengan sengkang 2 kaki

2. Pada Wilayah 2 (Daerah Lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \frac{V_{e2}}{\frac{1}{2} \ln 2h} &= \frac{V_{e1}}{\frac{1}{2} \ln} \\
 V_{e2} &= \frac{V_{e1} \times \left(\frac{1}{2} \ln 2h\right)}{\frac{1}{2} \ln} \\
 &= \frac{171936,62 \text{ N} \times \left(\frac{1}{2} \times 3250 - 2 \times 450\right)}{\frac{1}{2} 3250} \\
 &= 66836,92 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d \\
 &= 0,17 \times \sqrt{25} \times 300 \times 392 \\
 &= 99960 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ perlu} &= \frac{V_e - \phi V_c}{\phi} \\
 &= \frac{66836,92 \text{ N} - 0,75 \times 99960 \text{ N}}{0,75} \\
 &= -10844 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$V_s \text{ min} < V_s \text{ perlu}$$

$$39200 \text{ N} < -10844 \text{ N} \rightarrow \text{digunakan } V_s \text{ min}$$

- Direncanakan:

$$\phi \text{ geser} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah kaki} = 2 \text{ kaki}$$

$$\begin{aligned}
 A_v &= (0,25 \times \pi \times d^2) \times n \text{ kaki} \\
 &= (0,25 \times \pi \times 10^2) \times 2 \\
 &= 157,08 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Perhitungan penulangan geser dengan penambahan nilai torsi dihitung berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2 maka didapatkan hasil sebagai berikut:



$$\begin{aligned}
 \frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_{yt} \times d} \\
 &= \frac{39200}{280 \times 392} \\
 &= 0,4 \text{ mm}^2/\text{mm} \\
 \frac{A_{vt}}{s} &= \frac{2 \times A_t}{s} + \frac{A_v}{s} \\
 &= 2 \times 0,141 + 0,4 \\
 &= 0,64 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

- Jarak Tulangan Geser Perlu (Sperlu)

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{A_v}{A_{vt}/s} \\
 &= \frac{157,08}{0,64} \\
 &= 246 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka : dipasang jarak 150 mm antar tulangan geser

Syarat :

$$\begin{aligned}
 A_v &\geq (0,35 \cdot b_w \cdot s) / f_{yt} \\
 157,08 \text{ mm}^2 &\geq (0,35 \cdot 450 \cdot 150) / 280 \text{ mm}^2 \\
 157,08 \text{ mm}^2 &\geq 56 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

- Cek Syarat SRPMK Untuk Kekuatan Geser Balok

Spasi tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur tidak boleh melebihi  $d/2$  pada komponen struktur non-prategang dan  $0,75h$  pada komponen struktur prategang ataupun 600 mm

**(SNI 2847:2013 Pasal 11.4.5.1)**

Kontrol:

$$\begin{aligned}
 S \text{ pakai} &< \frac{d}{2} \\
 150 \text{ mm} &< \frac{392 \text{ mm}}{2} \\
 150 \text{ mm} &< 196 \text{ mm} \quad \text{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

S pakai < 600 mm  
 150 mm < 600 mm (memenuhi)  
 Jadi digunakan tulangan geser untuk daerah  
 lapangan balok D10-150 mm dengan sengkang 2  
 kaki

#### 4.4.2.7. Perhitungan Panjang Penyaluran

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12, sebagai berikut :

- Penyaluran Kait Standar Kondisi Tarik  
 Panjang penyaluran kait standar kondisi tarik dihitung berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.5.2, sebagai berikut :

$$l_{dh} = \frac{\left( \frac{0,24 \psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) db}{\left( \frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \sqrt{25}} \right) 16 \times \sqrt{25}}$$

$$l_{dh} = 307 \text{ mm} \approx 350 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_{dh} > 8db \quad \text{atau} \quad l_{dh} > 150 \text{ mm}$$

$$350 > 128 \text{ mm} \quad \text{atau} \quad 350 > 150 \text{ mm}$$

→ memenuhi

Panjang kait

$$12db = 12(16) = 192 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

- ❖ Maka dipakai kait  $l_{dh}$  sepanjang 310mm dengan tambahan kait 90° sepanjang 200 mm

○ Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tarik

Sesuai dengan SNI 3847:2013 pasal 12.2.1 bahwa untuk batang tulangan atau kawat ulir dengan D-22 atau lebih kecil,  $l_d$  harus dihitung dengan rumus dibawah ini :

$$l_d = \left[ \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right] d_b$$

$$l_d = \left[ \frac{400 \times 1 \times 1,5}{1,7 \times 1 \sqrt{25}} \right] 16$$

$$l_d = 1129,41 \text{ mm}$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih):

$$l_d \text{ reduksi} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} l_d$$

$$= \frac{525}{804,2} 1129,41$$

$$= 737 \text{ mm}$$

Direncanakan

$$l_d = 1200 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_d = 1200 \text{ mm} > l_d \text{ reduksi}$$

$$l_d = 1200 \text{ mm} > 1129,41 \text{ mm} \rightarrow (\text{memenuhi})$$

$$l_d = 1200 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$$

$$l_d = 1200 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \rightarrow (\text{memenuhi})$$

❖ Maka panjang penyaluran dalam kondisi tarik 1200 mm

○ Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tekan

Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.3.2, sebagai berikut :

$$l_{dc} = \left( \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b \quad \text{atau } l_{dc} = (0,043 \times f_y) d_b$$

$$l_{dc} = \left( \frac{0,24 \times 400}{1 \times \sqrt{25}} \right) 16 \quad \text{atau } l_{dc} = (0,043 \times 400) 16$$

$$l_{dc} = 307,2 \text{ mm} \quad \text{atau } l_{dc} = 275,2 \text{ mm}$$

$l_{dc}$  perlu dipilih dengan nilai terbesar, maka digunakan  $l_{dc}$  perlu = 307,2 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih):

$$l_{dc} \text{ reduksi} = \frac{A_{s'} \text{ perlu}}{A_{s'} \text{ pasang}} l_d$$

$$= \frac{155,67}{402,12} 307,2$$

$$= 118,922 \text{ mm}$$

Direncanakan

$$l_d = 200 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_{dc} = 200 \text{ mm} > l_{dc} \text{ reduksi}$$

$$l_{dc} = 200 \text{ mm} > 118,922 \text{ mm} \rightarrow (\text{memenuhi})$$

$$l_{dc} = 200 \text{ mm} > 200 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 200 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \rightarrow (\text{memenuhi})$$

○ Penyaluran Tulangan Momen Negatif

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.12.3. Paling sedikit sepertiga tulangan tarik total yang dipasang untuk momen negatif pada tumpuan harus mempunyai panjang penanaman melewati titik belok tidak kurang dari  $d$ ,  $12d_b$ , dan  $l_n/16$ , yang mana yang lebih besar.

Dimana :

$$d = 392 \text{ mm}$$

$$12d_b = 12 \cdot 16 \text{ mm} = 192 \text{ mm}$$

$$l_n/16 = (3250 \text{ mm} - 600 \text{ mm})/16 = 166 \text{ mm}$$

Hasil perhitungan yang lebih besar adalah 392 mm, maka digunakan penyaluran momen negative = 400 mm

- Kait Standar untuk Senggang  
Untuk tulangan D25 dan yang lebih kecil, bengkokan 135 derajat ditambah perpanjangan  $6d_b$  pada ujung bebas batang tulangan.

$$6d_b = 6 \cdot 10 \text{ mm}$$

$$= 60 \text{ mm} \geq 75 \text{ mm}$$

Digunakan panjang kait 75 mm

BALOK LIFT (BL) 30/45		
TUMPUAN 1	LAPANGAN	TUMPUAN 2
4D16	2D16	4D16
2D16	4D16	2D16
2D16	2D16	2D16
2D10-60	2D10-150	2D10-60

**Gambar 4. 20** Detail Penulangan Balok Lift

## 4.5. Perencanaan Struktur Utama Non Prategang

### 4.4.1. Perencanaan Balok Induk

Perhitungan tulangan balok memanjang BI1 (45/55). Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah pembalokan, hasil output dari analisis ETABS, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMK, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok adalah sebagai berikut :

#### 4.5.1.1. Data Perencanaan Tulangan Balok:

Tipe balok	= BI1
Dimensi balok (b balok)	= 450 mm
Dimensi balok (h balok)	= 550 mm
Bentang balok (L balok)	= 4900 mm
Kuat tekan beton ( $f_c'$ )	= 25 MPa

Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ )	= 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ )	= 280 MPa
Kuat leleh tulangan puntir ( $f_{yt}$ )	= 400 MPa
Decking	= 40 mm
Diameter tulangan lentur	= 19 mm (D lentur)
Diameter tulangan geser	= 13 mm (D geser)
Diameter tulangan puntir	= 19 mm (D puntir)
Jarak spasi tulangan sejajar	= 25 mm
Jarak spasi tulangan antar lapis	= 25 mm
Faktor $\beta_1$	= 0,764
Faktor reduksi kekuatan lentur ( $\phi$ )	= 0,9
Faktor reduksi kekuatan geser ( $\phi$ )	= 0,75
Faktor reduksi kekuatan puntir ( $\phi$ )	= 0,75

Tinggi efektif balok:

$$d = h - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} D \text{ lentur}$$

$$d = 550 - 40 - 13 - (\frac{1}{2} 19)$$

$$d = 487,5 \text{ mm}$$

$$d' = \text{decking} + \emptyset \text{ sengkang} + \frac{1}{2} D \text{ lentur}$$

$$d' = 40 + 13 + (\frac{1}{2} 19)$$

$$d' = 62,5 \text{ mm}$$

- Hasil output dan diagram gaya dari analisa ETABS :

Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa ETABS yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa.

Untuk perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Maka didapatkan hasil output sebagai berikut:

1. Torsi	: 48113399 Nmm
2. Momen tumpuan	: 227611414 Nmm
3. Momen lapangan	: 101923082 Nmm
4. Geser	: 162941,43 N

#### 4.4.2.2. Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil output ETABS diperoleh momen puntir terbesar :

- Momen Puntir Ultimate :

$$T_u = 48113399 \text{ Nmm}$$

- Geser Ultimate

$$V_u = 162941,43 \text{ N}$$

- Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \times h \\ &= 450 \text{ mm} \times 550 \text{ mm} \\ &= 247500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Perimeter luasan irisan penampang beton  $A_{cp}$

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b + h) \\ &= 2 \times (450 \text{ mm} + 550 \text{ mm}) \\ &= 2000 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2t_{decking} - D_{geser}) \times (h_{balok} - 2t_{decking} - D_{geser}) \\ &= (450 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - 13 \text{ mm}) \times (550 \text{ mm} - \\ &\quad (2 \times 40 \text{ mm}) - 13 \text{ mm}) \\ &= 163149 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times ((b_{balok} - 2t_{decking} - D_{geser}) + (h_{balok} - 2t_{decking} - \\ &\quad D_{geser})) \\ &= 2 \times (450 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - 13 \text{ mm}) \times (550 \text{ mm} - \\ &\quad (2 \times 40 \text{ mm}) - 13 \text{ mm}) \\ &= 1604 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor  $T_u$  besarnya kurang dariada:

$$T_{u_{\min}} = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$T_{u_{\min}} = 0,75 \times 0,083 \times 1 \sqrt{25} \left( \frac{247500^2}{2000} \right)$$

$$T_{u_{\min}} = 9571289 \text{ Nmm}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$$T_{u_{\min}} < T_u$$

$$9571289 \text{ Nmm} < 48113399 \text{ Nmm}$$

→ memerlukan tulangan puntir

- ❖ Jadi, penampang balok memerlukan penulangan puntir

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.5.2.2 Pada struktur statis tak tentu dimana reduksi momen torsi pada komponen struktur dapat terjadi akibat redistribusi gaya-gaya dalam dengan adanya keretakan,  $T_u$  maksimum boleh direduksi menjadi:

$$\begin{aligned} T_u &= \phi 0,33 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 0,75 \cdot 0,33 \cdot \sqrt{25} \cdot \left( \frac{(247500)^2}{2000} \right) \\ &= 38285156 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$T_{u_{\max}} < T_u$$

$$38285156 \text{ Nmm} < 48113399 \text{ Nmm}, \text{ maka digunakan}$$

$$T_u = 38285156 \text{ Nmm}$$

Sehingga, momen punter nominal

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{38285156 \text{ Nmm}}{0,75} = 51046875 \text{ Nmm}$$



- Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir  
Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot Ph}{1,7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left( \frac{\frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \times b_w \times d}{b_w \times d} + \frac{2 \sqrt{f_c'}}{3} \right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{162941,43}{450 \times 487,5}\right)^2 + \left(\frac{38285156 \times 1604}{1,7 (163149)^2}\right)^2} \leq 0,75 \left( \frac{\frac{1}{6} \sqrt{25} \times 450 \times 487,5}{450 \times 487,5} + \frac{2 \sqrt{25}}{3} \right)$$

0,713 < 3,125 → Memenuhi

- ❖ Jadi, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir

- Perhitungan Tulangan Puntir Untuk Lentur

Untuk menahan puntir sesuai dengan **SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.7** direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_l = \frac{A_t}{s} Ph \left( \frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \theta$$

Dengan  $\frac{A_t}{s}$  dihitung sesuai dengan **SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6** berasal dari persamaan di bawah :

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_t \times F_{yt}}{s} \cot^2 \theta$$

Untuk beton non prategang  $\theta = 45^\circ$

Dimana,

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 163149 \text{ mm}^2 \\ &= 138676,65 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times f_{yt} \times \cot(\theta)}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{51046875}{2 \times 138676,65 \times 280 \times \cot(45)}$$

$$\frac{A_t}{s} = 0,657 \text{ mm}$$

$$A_l = 0,657 \times 1604 \times \left( \frac{280}{400} \right) \cot^2 45$$

$$A_l = 738,041 \text{ mm}^2$$

❖ Jadi, tulangan puntir untuk lentur 738,041 mm<sup>2</sup>

- Sesuai dengan **SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3** tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan ketentuan

$$\begin{aligned} A_{l \text{ min}} &= \frac{0,42\sqrt{f_c'} \times A_{cp}}{F_y} - \left( \frac{A_t}{s} \right) P_h \frac{F_{yt}}{F_y} \\ &= \frac{0,42\sqrt{25} \times 247500}{400} - 0,657 \times 1604 \frac{280}{400} \\ &= 551,022 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dengan  $\frac{A_t}{s}$  tidak boleh kurang dari :  $0,175 \frac{b_w}{f_{yt}}$

$$\frac{A_t}{s} > 0,175 \frac{b_w}{f_{yt}}$$

$$0,657 > 0,175 \frac{450}{280}$$

$$0,657 > 0,281 \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kontrol :

$$738,041 \geq 551,022 \rightarrow \text{gunakan } A_l \text{ perlu}$$

❖ Jadi, tulangan puntir perlu sebesar 738,041 mm<sup>2</sup>

- Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok

$$\frac{A_l}{4} = \frac{738,41}{4} = 184,51 \text{ mm}^2$$

pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok

pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok

❖ Maka :

- Sisi atas dan sisi bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar =

$$2 \times \frac{A_l}{4} = 2 \times \frac{738,41}{4} = 369,02 \text{ mm}^2$$

- Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$n = \frac{A_s}{\text{Luasan D puntir}}$$

$$n = \frac{369,02 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4}\pi 19^2}$$

$$n = \frac{369,02 \text{ mm}^2}{283,53}$$

$$= 1,3 \approx 2 \text{ buah}$$

❖ Jadi, dipasang tulangan puntir 2D19

- Luasan tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$A_s = n \times \text{Luasan D puntir}$$

$$= 2 \times 0,25\pi 19^2$$

$$= 567,06 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$

$$567,06 \text{ mm}^2 \geq 369,02 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- ❖ Jadi, dipasang tulangan puntir pada lapangan, dan tumpuan sebesar 2D19

#### 4.4.2.3. Perhitungan Penulangan Lentur

- Garis netral dalam kondisi balance

$$X_b = \left( \frac{600}{600 + F_y} \right) \times d$$

$$= \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \times 487,5$$

$$= 293 \text{ mm}$$

- Garis netral maksimum

$$X_{\max} = 0,75 \times X_b$$

$$= 0,75 \times 293$$

$$= 219,4 \text{ mm}$$

- Garis netral minimum  

$$X_{min} = d'$$

$$= 62,5 \text{ mm}$$
- Garis netral rencana (asumsi)  

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$
- Komponen beton tertekan  

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{rencana}$$

$$C_c' = 0,85 \times 25 \times 450 \times 0,85 \times 100$$

$$C_c' = 812813 \text{ N}$$
- Luas tulangan Tarik  

$$A_{sc} = \frac{C_c'}{F_y}$$

$$= \frac{812813}{400}$$

$$= 2032 \text{ mm}^2$$
- Momen nominal tulangan lentur tunggal  

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right)$$

$$= 2032 \times 400 \times \left( 487,5 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right)$$

$$= 361701563 \text{ Nmm}$$
- a. Daerah Tumpuan  
 Momen tumpuan = 227611414 Nmm
  - Momen lentur nominal (Mn)  

$$M_{u_{tumpuan}} = 227611414 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{ux}}{\phi}$$

$$= \frac{227611414}{0,9}$$

$$= 252901571,1 \text{ Nmm}$$

- Cek momen nominal tulangan lentur rangkap  
 Syarat :  
 $M_{ns} > 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan  
 $M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan  
 $M_{ns} = M_n - M_{nc}$   
 $= 252901571,1 - 361701563$   
 $= -108799991 \text{ Nmm}$   
 Maka,  
 $M_{ns} < 0$   
 $M_{ns} = -108799991 < 0$   
 $\rightarrow$  (Tidak memerlukan tulangan lentur tekan)  
 ❖ Jadi analisis berikutnya untuk perhitungan balok digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

#### Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,8$$

Menurut **SNI 2847:2013 pasal 10.5.1**, syarat  $p_{min}$  :

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{F_y} = \frac{0,25 \sqrt{25}}{400} = 0,003125$$

yang menentukan  $p_{min} = 0,003125$

$\rho_{max} = 0,025$  (**SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1**)

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{227611414}{0,9 \times 450 \times 487,5^2} = 2,36 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right] \\ &= \frac{1}{18,8} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,8 \times 2,36}{400}} \right] \\ &= 0,00628 \end{aligned}$$

Kontrol Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0031 < 0,00628 < 0,025 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- Luasan perlu (As perlu) tulangan lentur tarik
 
$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,00628 \times 450 \times 487,5 \\ &= 1378 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$
- Luasan tulangan puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur tarik
 
$$\frac{A_l}{4} = 184,51 \text{ mm}^2$$
- Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir
 
$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= A_s \text{ perlu tul. Lentur tarik} + A_s \text{ tul. Puntir untuk tul. lentur tarik} \\ &= 1378 \text{ mm}^2 + 184,51 \text{ mm}^2 \\ &= 1563 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$
- Jumlah tulangan lentur tarik
 
$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{Luasan D lentur}} \\ &= \frac{1563}{\frac{1}{4} \pi 19^2} \\ &= 5,51 \text{ buah} \approx 6 \text{ buah} \end{aligned}$$
- Luasan tulangan lentur tarik
 
$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 6 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 1701,17 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol Syarat:

As pasang > As perlu

$$1701,17 \text{ mm}^2 > 1563 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- Luasan pasang ( $A_s'$ ) tulangan lentur tekan  
 $A_s'$  perlu = Luasan tulangan lentur tarik + luasan  
 tambahan torsi longitudinal sisi atas  
 balok

$$= A_s + \frac{A_t}{4}$$

$$= 0 + 184,51 = 184,51 \text{ mm}^2$$

- Jumlah tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{Luasan } D \text{ lentur}} \\ &= \frac{184,51}{\frac{1}{4}\pi 19^2} \\ &= 0,65 \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

- Luasan tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol Syarat:

As pasang > As perlu

$$850,59 \text{ mm}^2 > 184,51 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Direncanakan :

✓ Tulangan tarik = 1 lapis (6D19)

✓ Tulangan tekan = 1 lapis (3D19)

Kontrol tulangan tarik 1 lapis

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$= \frac{450 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (6 \times 19)}{6 - 1}$$

$$= 89,3 \text{ mm}$$

$S_{maks} \geq S_{\text{syarat agregat}}$

$89,3 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \rightarrow (\text{Memenuhi})$

Kontrol tulangan tekan 1 lapis

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$= \frac{450 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (3 \times 19)}{3 - 1}$$

$$= 143,5 \text{ mm}$$

$S_{maks} \geq S_{\text{syarat agregat}}$

$143,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \rightarrow (\text{Memenuhi})$

- Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik terpenuhi ( $S_{max} \geq 25 \text{ mm}$ ), maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis
- o Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari setengah kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua mukamuka kolom di kedua ujung kompone tersebut.

$M_{\text{lentur tumpuan}(+) \geq 1/4 \times M_{\text{lentur tumpuan}(-)}$

*(SNI 2847:2013, Pasal 21.5.2.2)*

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 6 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 1701,17 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 A_s' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\
 &= 3 \times 0,25 \pi \times 19^2 \\
 &= 850,59 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M \text{ lentur tumpuan}(+) &\geq 1/2 M \text{ lentur tumpuan}(-) \\
 850,59 \text{ mm}^2 &\geq 1/2 \cdot 1701,17 \text{ mm}^2 \\
 850,59 \text{ mm}^2 &\geq 850,59 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

- Kontrol Kemampuan Penampang

$$\alpha = \frac{A_{s \text{ pakai}} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{1701,17 \times 400}{0,85 \times 25 \times 450} = 71,2 \text{ mm}$$

Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{\alpha}{\beta_1} = \frac{71,2}{0,85} = 83,72 \text{ mm}$$

$$0,375 d_t = 0,375 \times 487,5 = 183 \text{ mm}$$

Syarat :

$$c \leq 0,375 d_t \rightarrow \text{kondisi terkontrol Tarik}$$

$$83,72 \text{ mm} \leq 183 \text{ mm} \text{ (asumsi benar, } \phi = 0,9)$$

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ pasang} &= A_s \times F_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 1701,17 \times 400 \times \left( 487,5 - \frac{71,2}{2} \right) \\
 &= 307517484,1 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka:

$$M_n \text{ pasang} > M_n \text{ perlu}$$

$$307517484,1 \text{ Nmm} > 251901571,1 \text{ Nmm (OKE)}$$

❖ Maka pada balok induk untuk daerah tumpuan:

✓ Tulangan lentur tarik susun 1 lapis

Lapis 1 = 6D19

✓ Tulangan lentur tekan susun 1 lapis

Lapis 1 = 3D19

b. Daerah Lapangan

$$\text{Momen tumpuan} = 101923082 \text{ Nmm}$$

- Momen lentur nominal ( $M_n$ )

$$Mu_{\text{lapangan}} = 101923082 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{Mu_x}{\phi} \\ &= \frac{101923082}{0,9} \\ &= 11347868,5 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 11347868,5 - 361701563 \\ &= -248453694 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$$M_{ns} = -248453694 < 0$$

→ (Tidak memerlukan tulangan lentur tekan)

- ❖ Jadi analisis berikutnya untuk perhitungan balok digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

#### Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,8$$

Menurut **SNI 2847:2013 pasal 10.5.1**, syarat  $\rho_{\min}$  :

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{F_y} = \frac{0,25 \sqrt{25}}{400} = 0,003125$$

yang menentukan  $\rho_{\min} = 0,003125$

$$\rho_{\max} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1)}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{101923082}{0,9 \times 450 \times 487,5^2} = 1,06 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{18,8} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,8 \times 1,06}{400}} \right]$$

$$= 0,00272$$

Kontrol Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0031 > 0,00272 < 0,025 \rightarrow (\text{Tidak Memenuhi})$$

- Luasan perlu (As perlu) tulangan lentur tarik

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0031 \times 450 \times 487,5$$

$$= 596 \text{ mm}^2$$

- Luasan tulangan puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur tarik

$$\frac{A_l}{4} = 184,51 \text{ mm}^2$$

- Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$A_s \text{ perlu} = A_s \text{ perlu tul. Lentur tarik} + A_s \text{ tul. Puntir untuk tul. lentur tarik}$$

$$= 596 \text{ mm}^2 + 184,51 \text{ mm}^2$$

$$= 870,1$$

- Jumlah tulangan lentur tarik

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{Luasan D lentur}}$$

$$= \frac{1}{4} \pi 19^2$$

$$= 3,07 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}$$

- Luasan tulangan lentur tarik

$$A_s \text{ pasang} = n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur}$$

$$= 4 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 1134,115 \text{ mm}^2$$

Kontrol Syarat:

As pasang > As perlu

$$1134,115 \text{ mm}^2 > 870,1 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- Luasan pasang (As') tulangan lentur tekan  
As' perlu = Luasan tulangan lentur tarik + luasan  
tambahan torsi longitudinal sisi atas  
balok

$$= A_s + \frac{A_t}{4}$$

$$= 0 + 184,51 = 184,51 \text{ mm}^2$$

- Jumlah tulangan lentur tekan

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_{s \text{ Dlentur}}}$$

$$= \frac{184,51}{\frac{1}{4} \pi 19^2}$$

$$= 0,65 \approx 2 \text{ buah}$$

- Luasan tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 567,057 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol Syarat:

As pasang > As perlu

$$567,057 \text{ mm}^2 > 183,51 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Direncanakan :

✓ Tulangan tarik = 1 lapis (4D19)

✓ Tulangan tekan = 1 lapis (2D19)

Kontrol tulangan tarik 1 lapis

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$= \frac{450 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (4 \times 19)}{4 - 1}$$

$$= 89,3 \text{ mm}$$

$S_{maks} \geq S_{\text{syarat agregat}}$

$$89,3 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

Kontrol tulangan tekan 1 lapis

$$\begin{aligned} S_{max} &= \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1} \\ &= \frac{450 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (2 \times 19)}{2 - 1} \\ &= 306 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S_{maks} \geq S_{\text{syarat agregat}}$

$$306 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik terpenuhi ( $S_{max} \geq 25 \text{ mm}$ ) , maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis

- o Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari setengah kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua mukamuka kolom di kedua ujung kompone tersebut.

$$M_{\text{lentur lapangan}(+) } \geq 1/2 \times M_{\text{lentur lapangan}(-)}$$

*(SNI 2847:2013, Pasal 21.5.2.2)*

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 6 \times 0,25 \pi \times 19^2 \\ &= 1701,17 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \pi \times 19^2 \\
 &= 567,057 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M \text{ lentur lapangan (+)} &\geq 1/2 M \text{ lentur tumpuan (-)} \\
 567,057 \text{ mm}^2 &\geq 1/2 \cdot 1701,17 \text{ mm}^2 \\
 567,057 \text{ mm}^2 &\geq 567,057 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

○ Kontrol Kemampuan Penampang

$$\alpha = \frac{A_{s \text{ pakai}} \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{1134,11 \times 400}{0,85 \times 25 \times 450} = 47,4 \text{ mm}$$

Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{\alpha}{\beta_1} = \frac{47,4}{0,85} = 55,812 \text{ mm}$$

$$0,375 d_t = 0,375 \times 487,5 = 183 \text{ mm}$$

Syarat :

$$c \leq 0,375 d_t \rightarrow \text{kondisi terkontrol Tarik}$$

$$55,812 \text{ mm} \leq 183 \text{ mm} \text{ (asumsi benar, } \phi = 0,9 \text{)}$$

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ pasang} &= A_s \times F_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 1134,11 \times 400 \times \left( 487,5 - \frac{47,4}{2} \right) \\
 &= 210391909 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka:

$$M_n \text{ pasang} > M_n \text{ perlu}$$

$$210391909 \text{ Nmm} > 113247868,5 \text{ Nmm (OKE)}$$

❖ Maka pada balok induk untuk daerah lapangan:

✓ Tulangan lentur tarik susun 1 lapis

Lapis 1 = 4D19

✓ Tulangan lentur tekan susun 1 lapis

Lapis 1 = 2D19

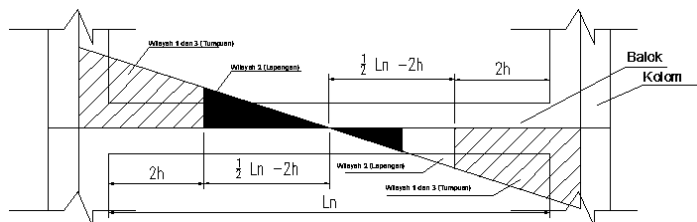
#### 4.4.2.4. Perhitungan Penulangan Geser

- Data perencanaan :
 

Dimensi balok (b balok)	= 450 mm
Dimensi balok (h balok)	= 550 mm
Kuat tekan beton ( $f_c'$ )	= 25 MPa
Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ )	= 280 MPa
Diameter tul. geser ( $\emptyset$ geser)	= 12 mm
$\beta_1$	= 0,85
Faktor reduksi kekuatan geser	= 0,75
- Berdasarkan hasil output dari analisa ETABS dan diagram gaya dalam:  
 $V_u = 162941,43 \text{ N}$
- Pembagian Wilayah Geser Balok
 

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

  1. *Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)*, sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang  
 (**SNI 2847:2013 Pasal 21.3**)
  2. *Wilayah 2 (daerah lapangan)* , dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke  $\frac{1}{2}$  bentang balok.



**Gambar 4. 21** Pembagian Wilayah Geser Pada Balok

- Syarat Kuat Tekan Beton ( $f_c'$ )

Nilai  $\sqrt{f_c'}$  yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3 MPa (**SNI 2847:2013 pasal 11.1.2**)

$$\sqrt{f_c'} < 8,3$$

$$\sqrt{25} < 8,3$$

$$5 < 8,3 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- Kuat Geser Tulangan

(**SNI 2847:2013 Pasal 11.2.1.1**)

$$V_s \text{ min} = 0,33 \times b \times d$$

$$= 0,33 \times 450 \times 487,5$$

$$= 73125 \text{ N}$$

- Penulangan Geser Balok

1. Pada Wilayah 1 dan 3 (Daerah Tumpuan)

(**SNI 2847:2013 pasal 21.5**)

Gaya geser diperoleh dari :

$$a = \left( \frac{A_s \cdot F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left( \frac{1701,17 \times 400}{0,85 \times 25 \times 450} \right)$$

$$a = 88,95 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr1} &= A_s \times f_y \times 1,25 \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1701,17 \times 400 \times 1,25 \times \left( 487,5 - \frac{88,95}{2} \right) \\ &= 376830874 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$a = \left( \frac{A_s \cdot F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left( \frac{850,586 \times 400}{0,85 \times 25 \times 450} \right)$$

$$a = 44,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr2} &= A_s \times f_y \times 1,25 \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 850,586 \times 400 \times 1,25 \times \left( 487,5 - \frac{44,5}{2} \right) \\ &= 197872913 \text{ Nmm} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 V_e &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} + \frac{W_u \times l_n}{2} \\
 &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} + V_u \\
 &= \frac{376830874 + 197872913}{4100} + 162941,43 \\
 &= 296513,74 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Pada SNI 2847:2013 pasal 21.5.4.2 pada daerah tumpuan harus diasumsikan  $V_c = 0$ , jika keduanya (a) dan (b) terjadi :

- (a) Gaya geser yang ditimbulkan gempa  $V_e$  mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum

$$V_e > \frac{1}{2} V_u$$

$$296513,74 \text{ N} > \frac{1}{2} 162941,43 \text{ N}$$

$$296513,74 \text{ N} > 81470,7 \text{ N (OKE)}$$

- (b) Gaya tekan aksial terfaktor  $P_u$  termasuk pengaruh gempa kurang dari  $A_g f'_c / 20$

$$\text{Nilai } P_u \text{ pada balok} = 0 \text{ (OKE)}$$

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ perlu} &= \frac{V_e - \phi V_c}{\phi} \\
 &= \frac{296513,74 \text{ N} - 0,75 \times 0 \text{ N}}{0,75} \\
 &= 395352 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$V_s \text{ min} < V_s \text{ perlu}$$

$$73125 \text{ N} < 395352 \text{ N} \rightarrow \text{memenuhi}$$

- o Direncanakan:

$$\emptyset \text{ geser} = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah kaki} = 2 \text{ kaki}$$

$$A_v = (0,25 \times \pi \times d^2) \times n \text{ kaki}$$

$$= (0,25 \times \pi \times 13^2) \times 2$$

$$= 265,465 \text{ mm}^2$$

- Perhitungan penulangan geser dengan penambahan nilai torsi dihitung berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2 maka didapatkan hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_{yt} \times d} \\ &= \frac{395352}{280 \times 487,5} \\ &= 2,9 \text{ mm}^2/\text{mm} \\ \frac{A_{vt}}{s} &= \frac{2 \times A_t}{s} + \frac{A_v}{s} \\ &= 2 \times 0,66 + 2,9 \\ &= 2,90 \text{ mm}^2/\text{mm}\end{aligned}$$

- Jarak Tulangan Geser Perlu (Sperlu)

$$\begin{aligned}s &= \frac{A_v}{A_{vt}/s} \\ &= \frac{265,465}{2,9} \\ &= 63,04 \text{ mm} \approx 60 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka : dipasang jarak 60 mm antar tulangan geser

Syarat :

$$A_v \geq (0,35 \cdot b_w \cdot s) / f_{yt}$$

$$265,465 \text{ mm}^2 \geq (0,35 \cdot 450 \cdot 60) / 280 \text{ mm}^2$$

$$265,465 \text{ mm}^2 \geq 34 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

- Cek Syarat SRPMK Untuk Kekuatan Geser Balok

Senggang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi senggang tertutup tidak boleh melebihi yang terkecil dari a), b) dan c):

a)  $d/4$

b) Enam kali diameter tulangan longitudinal

c) 150 mm

**(SNI 2847:2013 Pasal 21.5.3.2)**

Kontrol:

$$\begin{aligned} \text{a) } S_{\text{pakai}} &< \frac{d}{4} \\ 60 \text{ mm} &< \frac{487,5 \text{ mm}}{4} \end{aligned}$$

$$60 \text{ mm} < 122 \text{ mm}$$

$$\text{b) } S_{\text{pakai}} < 6D_{\text{lentur}}$$

$$60 \text{ mm} < 114 \text{ mm}$$

$$\text{c) } S_{\text{pakai}} < 150 \text{ mm}$$

$$60 \text{ mm} < 150 \text{ mm}$$

❖ Jadi digunakan tulangan geser untuk daerah tumpuan balok Ø13-60 mm dengan sengkang 2kaki

## 2. Pada Wilayah 2 (Daerah Lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{V_{e2}}{\frac{1}{2} \ln - 2h} &= \frac{V_{e1}}{\frac{1}{2} \ln} \\ V_{e2} &= \frac{V_{e1} \times \left( \frac{1}{2} \ln - 2h \right)}{\frac{1}{2} \ln} \\ &= \frac{296513,74 \text{ N} \times \left( \frac{1}{2} \times 4100 - 2 \times 450 \right)}{\frac{1}{2} \times 4100} \\ &= 140467,04 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{25} \times 450 \times 487,5 \\ &= 186468,8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_{s \text{ perlu}} = \frac{V_e - \phi V_c}{\phi}$$

$$= \frac{140467,04 \text{ N} - 0,75 \times 186468,8 \text{ N}}{0,75}$$

$$= 821 \text{ N}$$

Syarat :

$V_s \text{ min} < V_s \text{ perlu}$

$73125 \text{ N} > 821 \text{ N} \rightarrow \text{digunakan } V_s \text{ min}$

- Direncanakan :

$\varnothing \text{ geser} = 13 \text{ mm}$

Jumlah kaki = 2 kaki

$$A_v = (0,25 \times \pi \times d^2) \times n \text{ kaki}$$

$$= (0,25 \times \pi \times 13^2) \times 2$$

$$= 265,465 \text{ mm}^2$$

- Perhitungan penulangan geser dengan penambahan nilai torsi dihitung berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2 maka didapatkan hasil sebagai berikut:

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_{yt} \times d}$$

$$= \frac{73125}{280 \times 487,5}$$

$$= 0,5 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{2 \times A_t}{s} + \frac{A_v}{s}$$

$$= 2 \times 0,66 + 0,5$$

$$= 1,85 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Jarak Tulangan Geser Perlu (Sperlu)

$$s = \frac{A_v}{A_{vt}/s}$$

$$= \frac{265,465}{1,85}$$

$$= 143,5 \text{ mm} \approx 125 \text{ mm}$$

Maka : dipasang jarak 125 mm antar tulangan geser

Syarat :

$$A_v \geq (0,35.bw.s)/f_yt$$

$$265,465 \text{ mm}^2 \geq (0,35.450.125)/280 \text{ mm}^2$$

$$265,465 \text{ mm}^2 \geq 70 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

○ Cek Syarat SRPMK Untuk Kekuatan Geser Balok

Spasi tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur tidak boleh melebihi  $d/2$  pada komponen struktur non-prategang dan  $0,75h$  pada komponen struktur prategang ataupun 600 mm

*(SNI 2847:2013 Pasal 11.4.5.1)*

Kontrol:

$$S \text{ pakai} < \frac{d}{2}$$

$$125 \text{ mm} < \frac{387,5 \text{ mm}}{2}$$

$$125 \text{ mm} < 143,5 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S \text{ pakai} < 600 \text{ mm}$$

$$125 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Jadi digunakan tulangan geser untuk daerah lapangan balok D13-125 mm dengan sengkang 2 kaki

#### 4.4.2.5. Perhitungan Panjang Penyaluran

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12, sebagai berikut :

- Penyaluran Kait Standar Kondisi Tarik  
Panjang penyaluran kait standar kondisi tarik dihitung berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.5.2, sebagai berikut :

$$ldh = \frac{\left( \frac{0,24 \psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) db}{\left( \frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \sqrt{25}} \right) 19}$$

$$ldh = 288 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

Syarat :

$$ldh > 8db \quad \text{atau} \quad ldh > 150 \text{ mm}$$

$$300 > 152 \text{ mm} \quad \text{atau} \quad 300 > 150 \text{ mm}$$

→memenuhi

Panjang kait

$$12db = 12(19) = 228 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

❖ Maka dipakai kait ldh sepanjang 300mm dengan tambahan kait 90° sepanjang 250 mm

- Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tarik  
Sesuai dengan SNI 3847:2013 pasal 12.2.1 bahwa untuk batang tulangan atau kawat ulir dengan D-22 atau lebih kecil, ld harus dihitung dengan rumus dibawah ini :

Perhitungan

$$ld = \left[ \frac{f_y \Psi_t \psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f'_c}} \right] db$$

$$ld = \left[ \frac{400 \times 1 \times 1,5}{1,7 \times 1 \sqrt{25}} \right] 19$$

$$ld = 894,1 \text{ mm}$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih):

$$\begin{aligned} l_d \text{ reduksi} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} l_d \\ &= \frac{1651}{1701} 894 \\ &= 867,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

Direncanakan

$$l_d = 900 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_d = 900 \text{ mm} > l_d \text{ reduksi}$$

$$l_d = 900 \text{ mm} > 867,6 \text{ mm} \rightarrow (\text{memenuhi})$$

$$l_d = 900 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$$

$$l_d = 900 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \rightarrow (\text{memenuhi})$$

❖ Maka panjang penyaluran dalam kondisi tarik 1000 mm

○ Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tekan

Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.3.2, sebagai berikut :

$$l_{dc} = \left( \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b \quad \text{atau} \quad l_{dc} = (0,043 \times f_y) d_b$$

$$l_{dc} = \left( \frac{0,24 \times 400}{1 \times \sqrt{25}} \right) 19 \quad \text{atau} \quad l_{dc} = (0,043 \times 400) 19$$

$$l_{dc} = 288,4 \text{ mm} \quad \text{atau} \quad l_{dc} = 326,8 \text{ mm}$$

$l_{dc}$  perlu dipilih dengan nilai terbesar, maka digunakan  $l_{dc} \text{ perlu} = 326,8 \text{ mm}$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih):

$$\begin{aligned} l_{dc} \text{ reduksi} &= \frac{A_s' \text{ perlu}}{A_s' \text{ pasang}} l_d \\ &= \frac{243}{850,6} 326,8 \\ &= 93,281 \text{ mm} \end{aligned}$$

Direncanakan

$$l_d = 250 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_{dc} = 250 \text{ mm} > l_{dc} \text{ reduksi}$$

$$l_{dc} = 250 \text{ mm} > 93,281 \text{ mm} \rightarrow (\text{memenuhi})$$

$$l_{dc} = 250 \text{ mm} > 200 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 250 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \rightarrow (\text{memenuhi})$$

○ Penyaluran Tulangan Momen Negatif

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.12.3. Paling sedikit sepertiga tulangan tarik total yang dipasang untuk momen negatif pada tumpuan harus mempunyai panjang penanaman melewati titik belok tidak kurang dari  $d$ ,  $12d_b$ , dan  $l_n/16$ , yang mana yang lebih besar.

Dimana :

$$d = 390 \text{ mm}$$

$$12d_b = 12 \cdot 19 \text{ mm} = 228 \text{ mm}$$

$$l_n/16 = (4900 \text{ mm} - 800 \text{ mm})/16 = 256,25 \text{ mm}$$

Hasil perhitungan yang lebih besar adalah 390 mm, maka digunakan penyaluran momen negative = 400 mm

○ Kait Standar untuk Sengkang

Untuk tulangan D25 dan yang lebih kecil, bengkokan 135 derajat ditambah perpanjangan  $6d_b$  pada ujung bebas batang tulangan.

$$6d_b = 6 \cdot 12 \text{ mm}$$

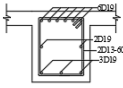
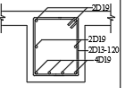
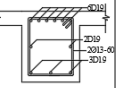
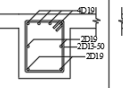
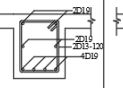
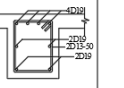
$$= 72 \text{ mm} \geq 75 \text{ mm}$$

Digunakan panjang kait 75 mm



**Tabel 4. 32** Rekapitulasi Penulangan Balok Induk

Jenis Balok	Letak	Tul. Lentur		Tul. Geser	Tul. Torsi
		Negatif	Positif		
BI 1 (45/55)	Tumpuan	6 D19	3 D19	2Ø12-60	2 D19
	Lapangan	4 D19	2 D19	2Ø12-125	
BI 2 (40/50)	Tumpuan	4 D19	2 D19	2Ø12-50	2 D19
	Lapangan	4 D19	2 D19	2Ø12-125	

BALOK INDUK 1 (BI1) 45/55			BALOK INDUK 2 (BI2) 40/50		
TUMPUAN 1	LAPANGAN	TUMPUAN 2	TUMPUAN 1	LAPANGAN	TUMPUAN 2
					
6D19	2D19	6D19	4D19	2D19	4D19
3D19	4D19	3D19	2D19	4D19	2D19
2D19	2D19	2D19	2D19	2D19	2D19
2D13-60	2D13-125	2D13-60	2D13-50	2D13-125	2D13-50

**Gambar 4. 22** Detail Penulangan Balok Induk

#### 4.5.2. Perhitungan Kolom

Pada perencanaan tugas akhir ini kolom yang diperhitungkan diambil pada kolom lantai 1. Data perencanaan kolom adalah sebagai berikut :

- Mutu Beton = 35 MPa
- Mutu Baja Tulangan = 400 MPa
- Dimensi Kolom = 100/100 cm
- Tebal Decking = 50 mm
- Diameter Tulangan Utama (D) = 25 mm
- Diameter Sengkang ( $\phi$ ) = 16 mm

$$\begin{aligned}
 d &= h \text{ selimut} - \phi - (0,5 \times D) \\
 &= 1000 \text{ mm} - 50 \text{ mm} - 16 \text{ mm} - 12,5 \text{ mm} \\
 &= 921,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan software ETABS diperoleh besarnya gaya pada kolom adalah sebagai berikut :

$$1. \quad P_u \max = 6792919,32 \text{ N}$$

#### ○ Kontrol Dimensi Kolom

Sesuai dengan persyaratan pada SNI 2847:2013 komponen struktur yang memikul gaya aksial terfaktor akibat beban gravitasi terfaktor yang melebihi  $A_g f_c' / 10$  harus memenuhi ketentuan pada pasal 21.6.5.1:

$$\text{Gaya aksial terfaktor} \geq A_g \times f_c' / 10$$

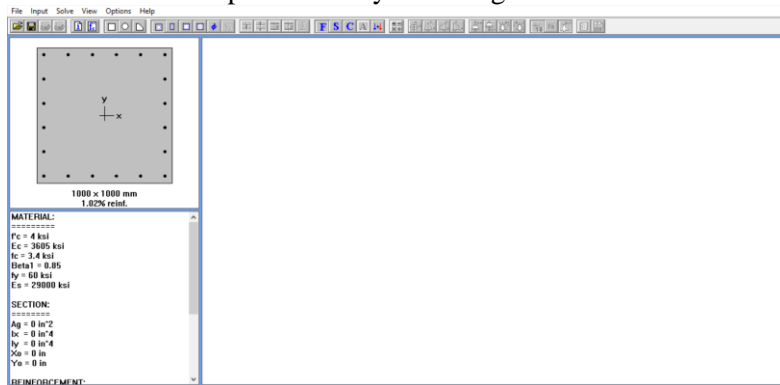
$$6792919,32 \text{ N} \geq 1000 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm} \times 35 \text{ MPa} / 10$$

$$6792919,32 \text{ N} \geq 3500000 \text{ N}$$

Dari hasil analisa dengan menggunakan program bantu ETABS didapat gaya aksial tekan terfaktor yang terbesar adalah 350000 N. Karena beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur telah melebihi  $A_g \times f_c' / 10$  maka pasal tersebut di atas berlaku.

#### 4.5.2.1. Perhitungan Penulangan Kolom

Dari hasil analisa dengan program bantu ETABS didapat data beban aksial dan momen yang terjadi, kemudian dilakukan perhitungan penulangan memanjang kolom menggunakan program bantu SpColumn, didapatkan diagram interaksi antara aksial dan momen pada kolom yaitu sebagai berikut :



Berdasarkan hasil tersebut, kolom memerlukan tulangan memanjang (longitudinal) sebanyak 20D25 ( $\rho = 1,02\%$ ). Kebutuhan  $\rho$  tersebut telah memenuhi syarat SNI 2847:2013 pasal 10.9.1 yaitu antara 1% - 8%. Dari hasil analisis kolom menggunakan program bantu SpColumn, didapat hasil analisa sebagai berikut :

- Rasio tulangan longitudinal = 1,02%
- Penulangan 20D25 = 9817,477 mm<sup>2</sup>
- Ag = 3500000 mm<sup>2</sup>

○ **Kontrol Kapasitas Beban Aksial Kolom**

Sesuai SNI 2847:2013 Pasal 12.3.5.2, kapasitas beban aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor hasil analisa struktur.

$$\begin{aligned}\phi P_n (\max) &= 0,8 \times \phi \times [0,85 \times f'_c \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st}] \\ &= 0,8 \times 0,65 \times [0,85 \times 35 \times (1000000 - 9817,477) \\ &\quad + 400 \times 9817,477] \\ &= 17360158,85 \text{ N}\end{aligned}$$

Syarat :

$$P_n \max > P_u$$

$$17360158,85 \text{ N} > 6792919,32 \text{ N (OKE)}$$

❖ Jadi, tulangan 20D25 dapat digunakan.

- Kontrol Persyaratan Kolom Terhadap Gaya Geser Rencana  $V_e$

- Geser pada Kolom

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.2.2 gaya geser desain,  $V_e$  ditentukan sebagai berikut :

$$V_e = \frac{M_{prt} + M_{prb}}{L}$$

$M_{pr}$  adalah kekuatan lentur mungkin komponen struktur, dengan atau tanpa beban aksial, yang ditentukan menggunakan properti komponen struktur pada muka *joint* yang mengasumsikan tegangan tarik dalam batang tulangan longitudinal sebesar paling sedikit  $1,25 f_y$  dan faktor reduksi  $\phi$  kekuatan sebesar 1,0 Nmm.

Sehingga nilai  $f_y$  untuk analisa geser sebesar  $1,25 f_y$   
 $= 1,25 \times 400 \text{ MPa} = 500 \text{ MPa}$

Dari hasil analisa menggunakan SpColomn diperoleh hasil sebagai berikut :

$$\begin{aligned} M_{prt} &= 2358,55 \text{ kN.m} \\ M_{prb} &= 3578,68 \text{ kN.m} \\ M_{nt} &= 3265,06 \text{ kN.m} \\ M_{nb} &= 3483,7 \text{ kN.m} \\ L &= 5000 \text{ mm} = 5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{M_{prt} + M_{prb}}{L} \\ &= \frac{2358,55 + 3578,68}{5} \\ &= 1187,446 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Geser pada Balok

Data Balok :

$$\begin{aligned} b &= 450 \text{ mm} \\ h &= 550 \text{ mm} \\ d &= 477,5 \text{ mm} \\ A_s &= 1701,17 \text{ mm}^2 \\ A_s' &= 850,59 \text{ mm}^2 \\ L &= 6000 \text{ mm} \\ F_c' &= 35 \text{ Mpa} \\ V_{ub} &= 162941,43 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \circ M_{prl} \\ a &= \frac{1,25 \times A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{1,25 \times 1701,17 \times 400}{0,85 \times 30 \times 450} \\ &= 89 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{prl} &= 1,25 \times A_s \times f_y \times (d - \frac{1}{2} a) \\ &= 1,25 \times 1134,115 \times 400 \times (488,5 - \frac{1}{2} 89) \\ &= 37683874,5 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \circ \quad M_{pr2} &= \frac{1,25 \times A_s \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} \\
 &= \frac{1,25 \times 850,59 \times 400}{0,85 \times 35 \times 450} \\
 &= 44,5 \text{ mm} \\
 M_{pr2} &= 1,25 \times A_s \times f_y \times (d - \frac{1}{2} a) \\
 &= 1,25 \times 850,59 \times 400 \times (488,5 - \frac{1}{2} 44,5) \\
 &= 197872913,1 \text{ N.mm} \\
 V_e &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L_n} + V_u \\
 &= \frac{37683874,5 + 197872913,1}{5000} + 162941,43 \\
 &= 277882,19 \text{ N} = 277,9 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Geser rencana akibat kolom tidak perlu lebih dari  $M_{pr}$  akibat balok. Maka digunakan  $V_e = 277,9 \text{ kN}$ . Tapi tidak boleh kurang dari  $V_e$  dari hasil analisa struktur pada ETABS = 275,3 kN. Maka digunakan  $V_e = 277,9 \text{ kN}$ .

○ Persyaratan Strong Column Weak Beam

Sesuai dengan filosofi desain kapasitas, maka SNI 2847:2013 pasal 21.6.2 mensyaratkan bahwa :

$$\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \Sigma M_{nb}$$

Dimana  $\Sigma M_{nc}$  adalah momen kapasitas kolom dan  $\Sigma M_{nb}$  merupakan momen kapasitas balok. Perlu diperhatikan bahwa  $M_{nc}$  harus dicari dari gaya aksial terfaktor yang menghasilkan kuat lentur terendah, sesuai dengan arah gempa yang ditinjau yang dipakai untuk memeriksa syarat *strong column weak beam*. Setelah kita dapatkan jumlah tulangan untuk kolom, maka selanjutnya adalah mengontrol apakah kapasitas kolom tersebut sudah memenuhi persyaratan *strong column weak beam*.

• Momen Nominal Kolom

$$\begin{aligned}
 M_{nt} &= 3265,06 \text{ kN.m} \\
 M_{nb} &= 3483,7 \text{ kN.m} \\
 \Sigma M_{nc} &= 6748,76 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

- Momen Nominal Balok

- $M_{n1}$

$$a = \frac{1 \times A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$= \frac{1 \times 1701,17 \times 400}{0,85 \times 25 \times 450}$$

$$= 71,2 \text{ mm}$$

$$M_{n1} = 1 \times A_s \times f_y \times (d - \frac{1}{2} a)$$

$$= 1 \times 1701,17 \times 400 \times (488,5 - \frac{1}{2} 71,2)$$

$$= 308197953,1 \text{ N.mm}$$

- $M_{n2}$

$$a = \frac{1 \times A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$= \frac{1 \times 850,59 \times 400}{0,85 \times 25 \times 450}$$

$$= 35,6 \text{ mm}$$

$$M_{n2} = 1 \times A_s \times f_y \times (d - \frac{1}{2} a)$$

$$= 1 \times 850,59 \times 400 \times (488,5 - \frac{1}{2} 35,6)$$

$$= 160151761,1 \text{ N.mm}$$

- $\Sigma M_{nb} = 308197953,1 + 160151761,1$
- $= 468349714,2 \text{ N.mm}$

Cek syarat Strong Column Weak Beam

$$\Sigma M_{nc} > 1,2 \times \Sigma M_{nb}$$

$$6748,76 \text{ kN.m} > 1,2 \times 468349714,2 \text{ N.mm}$$

$$6748760000 \text{ N.mm} > 562019657 \text{ N.mm (OKE)}$$

#### 4.5.2.2. Penulangan Geser Kolom

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.1 panjang  $L_0$  tidak boleh kurang dari yang terbesar dari :

$$L_0 \geq h = 1000 \text{ mm}$$

$$\geq 1/6 \times L_n = 1/6 \times 5000 \text{ mm} = 833,33 \text{ mm}$$

$$\geq 450 \text{ mm}$$

Maka digunakan  $L_0$  adalah 1000 mm.

- Penulangan pada sendi

$$V_e = 275330,43 \text{ N}$$

Gaya geser disumbang beton

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \left(1 + \frac{P_u}{14 \times A_g}\right) \times \lambda \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times \left(1 + \frac{6792919,32}{14 \times 3500000}\right) \times 1 \times \sqrt{40} \times 1000 \times 921,5 \\ &= 1372296 \text{ N} \\ \phi V_c &= 0,75 \times 1372296 \text{ N} \\ &= 1029222,147 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya geser desain

$$\begin{aligned} V_s &= V_u - \phi V_c \\ &= 277882,19 \text{ N} - 1029222,147 \text{ N} \\ &= -751339,959 \text{ N} > 0 \end{aligned}$$

Maka digunakan  $V_s$  min

$$\begin{aligned} V_{s \text{ min}} &= 0,33 \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d \\ &= 0,33 \times \sqrt{35} \times 1000 \times 921,5 \\ &= 1817222,507 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan sengkang dengan 4 kaki  $\phi 16 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} A_{sv} &= 0,25 \times \pi \times 16^2 \times 4 \\ &= 804,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &= \frac{\phi \times A_{sv} \times f_{yt} \times d}{V_s} \\ &= \frac{0,8 \times 804,2 \times 400 \times 921,5}{1817222,507} \\ &= 122,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

Untuk  $A_{sh \text{ min}}$  sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal

21.6.4.4 diperoleh dari nilai terbesar dari hasil rumus berikut :

$$A_{sh} = 0,3 \times \frac{s \times b_c \times f_c'}{f_{yt}} \left[ \left( \frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right]$$

Atau

$$A_{sh} = 0,09 \times \frac{s \times b_c \times f_c'}{f_{yt}}$$

Dimana :

- $S$  = jarak spasi tulangan transversal (mm)  
 $b_c$  = dimensi potongan melintang dari inti kolom, diukur dari pusat ke pusat dari tulangan pengekan (mm)  
 $A_g$  = luasan penampang kolom (mm<sup>2</sup>)  
 $A_{ch}$  = luasan penampang kolom diukur dari daerah terluar tulangan transversal (mm)  
 $f_{yt}$  = kuat leleh tulangan transversal (MPa)

dengan :

$$\begin{aligned}
 b_c &= b - 2 \times (\text{cover} + \varnothing/2) \\
 &= 884 \text{ mm} \\
 A_{ch} &= 810000 \text{ mm}^2 \\
 A_{sh} / s &= 0,3 \times \frac{b_c \times f_c'}{f_{yt}} \left[ \left( \frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \\
 &= 0,3 \times \frac{884 \times 35}{400} \left[ \left( \frac{3500000}{810000} \right) - 1 \right] \\
 &= 5,44 \text{ mm/mm}^2 \\
 A_{sh} / s &= 0,09 \times \frac{b_c \times f_c'}{f_{yt}} \\
 &= 0,09 \times \frac{884 \times 35}{400} \\
 &= 6,96 \text{ mm/mm}^2
 \end{aligned}$$

Maka  $A_{sh}/s$  pakai adalah 6,96 mm/mm<sup>2</sup>

Bila digunakan :

$$\begin{aligned}
 s &= 100 \text{ mm} \\
 A_{sh} &= 6,96 \text{ mm/mm}^2 \times 100 \text{ mm} \\
 &= 696 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}
 A_v \text{ pasang} &> A_{sh} \\
 804,25 \text{ mm}^2 &> 696 \text{ mm}^2 \quad (\text{OKE})
 \end{aligned}$$

Spasi terkecil pada sendi plastis

$$\begin{aligned}
 S_0 &< \frac{1}{4} b \\
 &< 250 \text{ mm} \\
 S_0 &< 6 \times d_b \\
 &< 150 \text{ mm} \\
 S_0 &< 150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



$S_0$  dipakai yang paling minimum yaitu 150 mm

Syarat :

$S_{\text{pasang}} < S_0$

100 mm < 150 mm (OKE)

❖ Jadi, pada penulangan sengkang pada sendi plastis dipasang tulangan sebesar 4-Ø16 jarak 100 mm

### • Penulangan Sengkang di Luar Sendi Plastis

$$V_{u2} = \frac{V_{u1} \times \left(\frac{L}{2} - L_0\right)}{\frac{L}{2}}$$

$$= \frac{277,9 \times \left(\frac{2500}{2} - 1000\right)}{\frac{5000}{2}}$$

$$= 166,73 \text{ kN}$$

$$V_s = V_u - \phi V_c$$

$$= 166729,3125 \text{ N} - 1029222,147 \text{ N}$$

$$= -862492,83 \text{ N}$$

Maka digunakan  $V_s$  min

$$V_s \text{ min} = 0,33 \times b_w \times d$$

$$= 0,33 \times 100 \times 921,5$$

$$= 307166,67 \text{ N}$$

Direncanakan sengkang dengan 4 kaki  $\phi 16$  mm

$$A_{sv} = 0,25 \times \pi \times 16^2 \times 4$$

$$= 804,25 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_{sv} \times f_{yt} \times d}{V_s}$$

$$= \frac{804,25 \times 400 \times 921,5}{307166,67}$$

$$= 965,097 \text{ mm}$$

Spasi terkecil di luar sendi plastis

$$S_0 = 6 d_b = 150 \text{ mm}$$

$$S_0 = 150 \text{ mm}$$

$$S_{\text{perlu}} = 579,1 \text{ mm}$$

$$S_0 \text{ menentukan} = 150 \text{ mm}$$

Syarat :

$S_{\text{pasang}} < S_0$

$100 \text{ mm} < 150 \text{ mm}$  (OKE)

❖ Jadi, pada penulangan sengkang pada sendi plastis dipasang tulangan sebesar 2-Ø16 jarak 100 mm

○ **Gaya Geser Perlawanan Sengkang**

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{s} \\ &= \frac{804,25 \times 400 \times 921,5}{100} \\ &= 2964457,093 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya geser perlawanan total

$$\phi \cdot (V_s + V_c) > V_{u2}$$

$$0,75 \cdot (2964457,093 + 1372296,195) > 166779 \text{ N}$$

$$3252564,967 \text{ N} > 166729 \text{ N (OKE)}$$

○ **Hubungan Balok Kolom**

Lebar join efektif diambil yang terkecil dari nilai berikut:

1. B balok + h kolom

$$\begin{aligned} b_{\text{eff}} &= 450 \text{ mm} + 1000 \text{ mm} \\ &= 1450 \text{ mm} \end{aligned}$$

2. B balok + 2 x X

$$\begin{aligned} \text{Dimana } X &= 0,5 \times (h \text{ kolom} - b \text{ balok}) \\ &= 0,5 \times (1000 \text{ mm} - 450 \text{ mm}) \\ &= 275 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{\text{eff}} &= 450 \text{ mm} + 2 \times 275 \text{ mm} \\ &= 1000 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka  $b_{\text{eff}}$  adalah 1000 mm

$$\begin{aligned} A_j &= h \text{ kolom} \times b_{\text{eff}} \\ &= 1000 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm} \\ &= 1000000 \text{ mm} \end{aligned}$$

Untuk balok yang terkekang 4 muka

$$\begin{aligned} V_n &= 1,7 \times \sqrt{f_c} \times A_j \\ &= 1,7 \times \sqrt{35} \times 1000000 \\ &= 10057335,6 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat :

$$V_n > V_u$$

$$10057335,6 \text{ N} > 278137,36 \text{ N} \quad (\text{OKE})$$

#### 4.5.2.3. Perhitungan Sambungan Lewatan Tulangan Vertikal Kolom

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 12.2.3, panjang penyaluran untuk tulangan D25 harus diambil sebesar :

$$\frac{L_d}{d_b} = \frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f_c'}} = \frac{\Psi_t\Psi_o\Psi_s}{\left(\frac{c+k_{tr}}{d_b}\right)}$$

Dimana:

$$\Psi_t = 1 \text{ (situasi lainnya)}$$

$$\Psi_e = 1 \text{ (tulangan tanpa pelapis)}$$

$$\Psi_s = 1 \text{ (tulangan } \geq D22 \text{)}$$

$$\lambda = 1 \text{ (beton biasa)}$$

$$d_b = 25 \text{ mm}$$

nilai  $c_b$  merupakan nilai terkecil dari parameter dibawah ini:

$$\begin{aligned} c_1 &= 50 + 16 + 25/2 \\ &= 78,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_2 &= (1000 - 2 \times (50 + 16) - (25 \times 6)) / (6 - 1) \\ &= 143,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{maka } c_b = c_{\min} = 78,5 \text{ mm}$$

kontrol syarat :

$$\frac{c + K_{tr}}{d_b} < 2,5$$

$$\frac{78,5+0}{25} < 2,5$$

$$3,14 > 2,5, \text{ maka digunakan } 2,5.$$

$$\frac{L_d}{d_b} = \frac{400}{1,1 \times 1 \sqrt{35}} = \frac{1 \times 1 \times 1 \times 1}{2,5}$$

$$\frac{L_d}{d_b} = 24,586$$

$$l_d = 24,586 \times 25 \text{ mm}$$

$$l_d = 614,7 \text{ mm} \approx 650 \text{ mm}$$

❖ Maka panjang sambungan lewatan tulangan vertikal kolom sebesar 650mm

• Panjang Penyaluran pada Ujung Joint

Untuk diameter 10 – 36, panjang penyaluran  $l_{dh}$  untuk batang tulangan dengan kait 90 derajat pada beton normal tidak boleh kurang dari yang terbesar. Sesuai SNI 2847:2013 Pasal 21.7.5.1.

$$L_{dh} \geq 8 d_b = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$$

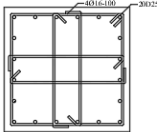
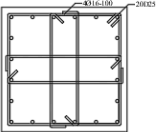
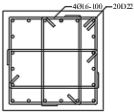
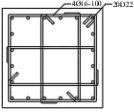
$$L_{dh} \geq 150 \text{ mm}$$

$$L_{dh} \geq \frac{f_y \times d_b}{5,4 \times \sqrt{f'_c}} = \frac{400 \times 25}{5,4 \times \sqrt{35}} = 313 \text{ mm} = 350 \text{ mm}$$

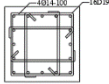
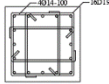
Jadi, digunakan  $l_{dh} = 350 \text{ mm}$

**Tabel 4. 33** Rekapitulasi Penulangan Kolom

Kode Kolom	Dimensi Kolom	Tul. Lentur	Tul. Geser		Sam. Lewatan	Penyal. Ujung Joint
	cm		S. Plastis	Luar S. Plastis	mm	mm
K1	100 x 100	20 D25	4Ø16-100	4Ø16-100	650	350
K2	80 x 80	20 D22	4Ø16-100	4Ø16-120	550	300
K3	60 x 60	20 D16	4Ø14-100	4Ø14-100	500	250

KOLOM 1 (K1) 100/100		KOLOM 2 (K2) 80/80	
TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
			
20D25	20D25	20D22	20D22
4Ø16-100	4Ø16-100	4Ø16-100	4Ø16-120

KOLOM 3 (K3) 60/60	
TUMPUAN	LAPANGAN
	
16D19	16D19
4Ø14-100	4Ø14-100

Gambar 4. 23 Detail Penulangan Kolom

## 4.6. Perhitungan Struktur Utama Prategang

### 4.6.1. Umum

Penggunaan prategang didasari oleh efisiensi yang mampu diberikan balok prategang dibandingkan beton bertulang biasa seperti menghemat berat tiap lantai sehingga dapat mengurangi beban gempa yang terjadi dan memperkecil struktur rangkanya. Pada studi beton prategang ini menggunakan metode pasca tarik (*post tension*) dan pengecorannya monolit dengan kolom. Metode pasca tarik adalah metode pratekan dimana tendon baja ditarik setelah beton mengeras. Jadi tendon pratekan

diangkurkan pada beton tersebut segera setelah gaya pratekan diberikan.

Studi beton prategang pada balok lantai dilakukan di lantai 12a (atap), dimana pada lantai 12 terdapat ruang *Multifunction Hall* yang sangat membutuhkan ruangan yang bebas tanpa hambatan kolom di tengahnya. Jumlah balok pratekan yang dilakukan studi adalah 4 buah, dengan panjang bentang adalah 12 meter. Sebelum dilakukan studi balok prategang, maka akan ditentukan terlebih dahulu spesifikasi mutu bahan, tahap pembebanan, jenis tendon yang digunakan, tegangan ijin komponen struktur, kehilangan pratekan, serta kontrol struktur yang meliputi kontrol batas layan (servisibility), dan penggambaran output.

#### **4.6.2. Perhitungan Tendon Prategang**

##### **4.6.2.1. Data dan Perencanaan**

Berikut ini adalah data perencanaan beton prategang :

- Panjang bentang = 12 meter
- Dimensi balok prategang = 45/65
- $f'_c$  (beton prategang) = 40 MPa
- $f'_c$  (pelat) = 25 MPa
- $d'$  = 72,5 cm

Untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton saat belum keras, diambil waktu curing 14 hari, sehingga nilai  $f_{ci}$  dihitung dengan cara sebagai berikut (acuan koefisien berdasarkan PBI)

- $f_{ci} = 0,88 \times 40 \text{ MPa} = 35,2 \text{ MPa}$
- $t_f = 11 \text{ cm}$

##### **4.6.2.2. Mencari Lebar Efektif**

Dalam mencari lebar efektif ( $b_w$ ), maka digunakan bebearapa perumusan yang terdapat di dalam SNI 2847:2013 pasal 8.12.2, dimana lebar efektif sayap balok T tidak boleh melebihi seperempat bentang balok, dan lebar efektif sayap dari masing-masing sisi badan balok tidak boleh melebihi :

- Delapan kali tebal pelat
- Setengah jarak bersih antara balok-balok yang bersebelahan

Perhitungan lebar efektif sebagai berikut :

$$\begin{aligned} b_{\text{eff}} &= \frac{1}{4} L \\ &= \frac{1}{4} 12 \text{ m} \\ &= 3 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{\text{eff}} &= b_w + (8 \times t_p) \\ &= 0,45 \text{ m} + (8 \times 0,11 \text{ m}) \\ &= 1,33 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{\text{eff}} &= b_w + 0,5 (L_{x1} + L_{x2}) \\ &= 0,45 \text{ m} + 0,5 (4,7 \text{ m} + 4,45 \text{ m}) \\ &= 5,025 \text{ m} \end{aligned}$$

$$E_c \text{ pelat} = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{25} = 23500 \text{ MPa}$$

$$E_c \text{ balok} = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{40} = 29725,41 \text{ MPa}$$

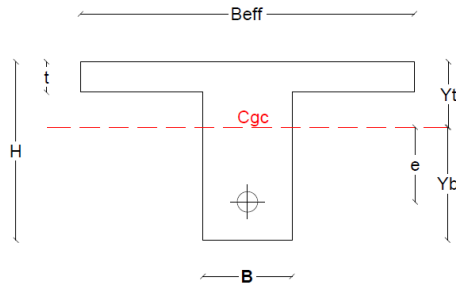
$$n = E_c \text{ pelat} / E_c \text{ balok} = 1,265$$

$$b_{\text{eff pakai}} = b_{\text{eff}} / n = 1,052 \text{ m}$$

Hingga nilai beff yang terkecil ialah 1,33 m untuk. Sesuai dengan persyaratan pertama dimana lebar efektif sayap balok T tidak boleh melebihi seperempat bentang balok, atau sepanjang 3 m. Penggunaan lebar efektif di dalam perhitungan beton prategang hanya digunakan pada saat analisa tegangan yang terjadi pada beton prategang sendiri, sementara untuk perhitungan beban yang ada lebar yang digunakan ialah selebar 5,025 m, sesuai dengan jarak antar balok prategang yang sebenarnya.

#### 4.6.2.3. Analisa Penampang Global

Penampang balok prategang menjadi balok T karena ada pelat lantai. Pengecoran pelat selebar B efektif dilakukan secara bersamaan dengan balok prategang sehingga mutu bahan antara pelat dan balok prategang sama,



Luas penampang balok prategang didapat sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_{\text{pelat}} &= b_e \times t_f \\ &= 1,052 \text{ m} \times 0,11 \text{ m} \\ &= 0,116 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{balok}} &= b \times (h - t_f) \\ &= 0,45 \text{ m} \times (0,65 \text{ m} - 0,11 \text{ m}) \\ &= 0,243 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{total}} &= A_{\text{pelat}} + A_{\text{balok}} \\ &= 0,116 \text{ m}^2 + 0,243 \text{ m}^2 \\ &= 0,359 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Nilai statis momen garis netral penampang balok sebagai berikut :

$$\begin{aligned} c &= (h - t_f)/2 + t_f \\ &= (0,65 \text{ m} - 0,11 \text{ m})/2 + 0,11 \text{ m} = 0,38 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_t &= \frac{A_{\text{pelat}} \times \frac{t_f}{2} + A_{\text{balok}} \times c}{A_{\text{total}}} \\ &= \frac{0,116 \times \frac{0,11}{2} + 0,243 \times 0,38}{0,358} \\ &= 0,275 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_b &= h - y_t \\ &= 0,65 \text{ m} - 0,275 \text{ m} \\ &= 0,375 \text{ m} \end{aligned}$$

$$d_t = y_t - t_f/2 = 0,275 \text{ m} - 0,11/2 = 0,22 \text{ m}$$

$$d_b = y_b - \frac{h - t_f}{2} = 0,375 \text{ m} - \frac{0,65 - 0,11}{2} = 0,105 \text{ m}$$



nilai  $I_t$  didapat sebagai berikut :

$$I = \frac{1}{12} b \times h^3 + (A_{\text{balok}} \times d_b^2) + \frac{1}{12} \frac{b_c}{n} t_f^3 + (A_{\text{pelat}} \times d_t^2) \\ = 14298544366 \text{ mm}^4$$

Setelah didapat data-data di atas diperlukan nilai batasan letak kabel tendon hendak dipasang yang disebut daerah limit kabel kabel. Tendon dipasang pada daerah yang menyebabkan beton menjadi tertekan dimana daerah tersebut dibatasi oleh nilai dan wilayah kern pada penampang balok prategang.

Dimana :

$$K_t = \frac{W_b}{A_{\text{total}}}$$

$$K_b = \frac{W_t}{A_{\text{total}}}$$

$$W_t = \frac{I}{y_t}$$

$$W_b = \frac{I}{y_b}$$

Keterangan :

$K_t$  = kern atas  $I$  = momen inersia

$K_b$  = kern bawah

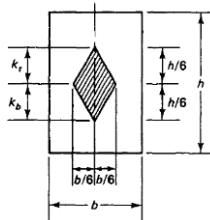
$$W_t = \frac{14298544366}{275} = 51957972,35 \text{ mm}^3$$

$$W_b = \frac{14298544366}{375} = 38149230,83 \text{ mm}^3$$

$$K_t = \frac{38149230,83}{358660,31} = 106,37 \text{ mm}$$

$$K_b = \frac{51957972,35}{358660,31} = 144,87 \text{ mm}$$

Kontrol syarat nilai kern balok :



**Gambar 4. 24** Daerah pusat kern

$$k_t = 106,37 \text{ mm} < \frac{h}{6} = 108,33 \text{ mm (memenuhi)}$$

$kb = 144,87 \text{ mm} < \frac{h}{6} = 108,33 \text{ mm}$  (tidak memenuhi)  
maka nilai  $kb = 108,33 \text{ mm}$

#### 4.6.2.4. Penentuan Tegangan Ijin Balok Prategang

Untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton saat belum keras, diambil waktu curing 14 hari, sehingga nilai  $f_{ci}$  dihitung dengan cara sebagai berikut (acuan koefisien berdasarkan PBI) :

$$f'_{ci} = 0,88 \times 40 \text{ MPa} = 35,2 \text{ MPa}$$

Tegangan ijin pada beton tidak boleh melebihi nilai-nilai berikut :

- a. Tegangan ijin pada beton tidak boleh melebihi nilai-nilai berikut :

- Tegangan tekan :  $0,60 f_{ci}$  (*SNI 2847:2013 pasal 18.4.1 a*)

$$\sigma_{tk} = 0,6 \times f_{ci} = 0,6 \times 35,2 \text{ MPa} = 21,12 \text{ Mpa}$$

- Tegangan tekan terluar pada ujung-ujung komponen struktur:  $0,70 f_{ci}$  (*SNI 2847:2013 pasal 18.4.1 b*)

$$\sigma_{tk} = 0,7 \times f_{ci} = 0,7 \times 35,2 \text{ MPa} = 24,64 \text{ Mpa}$$

- Tegangan tarik terluar :  $0,25 \sqrt{f_{ci}}$  (*SNI 2847:2013 pasal 18.4.1 c*)

$$\sigma_{tr} = 0,25 \sqrt{f_{ci}}$$

$$\sigma_{tr} = 0,25 \sqrt{f_{ci}} = 0,25 \sqrt{35,2} = 1,48 \text{ Mpa}$$

- b. Pada beban kerja setelah terjadi kehilangan gaya prategang.

- Tegangan tekan akibat prategang ditambah beban tetap :  $0,45 f_c$  (*SNI 2847:2013 pasal 18.4.2 a*)

$$\sigma_{tk} = 0,45 f_c = 0,45 \times 40 \text{ MPa} = 18 \text{ MPa}$$

- Tegangan tekan akibat prategang ditambah beban total :  $0,6 f_c$  (*SNI 2847:2013 pasal 18.4.2 b*)

$$\sigma_{tk} = 0,6 f_c = 0,6 \times 40 \text{ MPa} = 24 \text{ MPa}$$

- Tegangan tarik  $0,62 \sqrt{f_c}$  (*SNI 2847:2013 pasal 18.3.3*)

$$\begin{aligned}
 \text{Kelas U} &= ft \leq 0,62\sqrt{f_{ci}} \\
 &= ft \leq 0,62\sqrt{40} \\
 &= ft \leq 3,92 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kelas T} &= 0,62\sqrt{f_{ci}} \leq ft \leq \sqrt{f_{ci}} \\
 &= 0,62\sqrt{40} \leq ft \leq \sqrt{40} \\
 &= 3,92 \text{ MPa} \leq ft \leq 6,32 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kelas C} &= ft \geq \sqrt{f_{ci}} \\
 &= ft \geq \sqrt{40} \\
 &= ft \geq 6,32 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Pada studi kali ini beton diijinkan tarik berdasarkan kelas U dengan tegangan ijin Tarik sebesar  $ft \leq 0,62\sqrt{f_{ci}} = 6,32 \text{ MPa}$   
Dimana :

$f_{ci}$  = kuat tekan beton yang diisyaratkan, MPa

$f_c$  = kuat tekan beton saat pemberian pratekan awal, MPa

#### 4.5.2.5. Desain Gaya Prategang Awal ( $F_o$ )

Tegangan pada beton yang diijinkan

- Pada saat transfer

Tarik ijin = 1,48 MPa

Tekan ijin = -21,12 MPa

- Pada saat beban layan

Tarik ijin = 3,92 MPa

Tekan ijin = -24 MPa

Digunakan  $d'$  = 160 mm = 16 cm

Eksentrisitas

$$\begin{aligned}
 \text{Tengah bentang (e)} &= y_b - d' \\
 &= 374,8 \text{ mm} - 160 \text{ mm} \\
 &= 214,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Besar gaya prategang yang dibutuhkan diambil berdasarkan beberapa persamaan, yaitu persamaan pada serat atas dan bawah tengah bentang saat transfer dan saat beban layan.

## Kondisi Saat Transfer Gaya Prategang

Beban saat transfer

$$\text{Balok} = 2400 \times 0,54 \times 0,45 = 583,2 \text{ kg/m}$$

$$\text{Pelat} = 2400 \times 0,11 \times 1,33 = 351,12 \text{ kg/m}$$

$$qD \text{ (kombinasi 1D)} = 934,32 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} M_{\max} \text{ lapangan} &= 1/24 \times q \times L^2 \\ &= 1/24 \times (934,32 \text{ kg/m}) \times (12 \text{ m})^2 \\ &= 5605,9 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\max} \text{ tumpuan} &= 1/12 \times q \times L^2 \\ &= 1/12 \times (934,32 \text{ kg/m}) \times (12 \text{ m})^2 \\ &= 11211,8 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

## a. Serat Atas

$$\begin{aligned} \sigma_{tr} &> -\frac{f_o}{A} + \frac{f_o \times e}{W_t} - \frac{M_{\text{lapangan}}}{W_t} \\ 1,48 &> -\frac{f_o}{358660,31} + \frac{f_o \times 323}{51957972,35} - \frac{56059200}{51957972,35} \\ 1,48 &> -\frac{f_o}{358660,31} + \frac{f_o}{241884} - 1,08 \\ 1,48 &> 0,483 \frac{f_o}{358660,3} - 1,08 \\ 2,56 &> 0,483 \frac{f_o}{358660,3} \\ f_o &= 1903455,4 \text{ N} \\ &= 1903,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

## b. Serat Bawah

$$\begin{aligned} \sigma_{tr} &> -\frac{f_o}{A} - \frac{f_o \times e}{W_b} + \frac{M_{\text{lapangan}}}{W_b} \\ -21 &> -\frac{f_o}{358660,31} - \frac{f_o \times 215}{38149230,83} + \frac{56059200}{38149230,83} \\ -21 &> -\frac{f_o}{358660,31} - \frac{f_o}{177599} + 1,47 \\ -21 &> -3,02 \frac{f_o}{358660,3} + 1,47 \\ -22,59 &> -3,02 \frac{f_o}{358660,3} \\ f_o &= -2683211,3 \text{ N} \\ &= -2683,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kondisi Saat Beban Layan

Didapat dari ETABS dengan kombinasi 1D + 1L

Momen tumpuan = 16662,299 kg.m

Momen lapangan = 11534,434 kg.m

a. Serat Atas

$$\begin{aligned}\sigma_{tr} &> -\frac{f_o}{A} + \frac{f_o \times e}{W_t} - \frac{M_{lapangan}}{W_t} \\ 3,92 &> -\frac{f_o}{358660,31} + \frac{f_o \times 214,8}{51957972,35} - \frac{115344339,4}{51957972,35} \\ 3,92 &> -\frac{f_o}{358660,31} + \frac{f_o}{241884} - 2,22 \\ 3,92 &> 0,48 \frac{f_o}{358660,3} - 2,22 \\ 7,80 &> 0,483 \frac{f_o}{358660,3} \\ f_o &= 4562322,2 \text{ N} \\ &= 4562,3 \text{ kN}\end{aligned}$$

b. Serat Bawah

$$\begin{aligned}\sigma_{tr} &> \frac{f_o}{A} - \frac{f_o \times e}{W_b} + \frac{M_{lapangan}}{W_b} \\ -24 &> -\frac{f_o}{358660,31} - \frac{f_o \times 214,8}{38149230,83} + \frac{115344339,4}{38149230,83} \\ -24 &> -\frac{f_o}{358660,31} - \frac{f_o}{177599} + 3,02 \\ -24 &> 3 \frac{f_o}{358660,3} + 3,02 \\ -27,02 &> 3,02 \frac{f_o}{358660,3} \\ f_o &= -3209892,3 \text{ N} \\ &= -3209,9 \text{ kN}\end{aligned}$$

Dari kondisi beban layan dan saat transfer diambil gaya paling minimum

$$f_o < 1903,5 \text{ kN}$$

$$f_o = 1900 \text{ kN}$$

#### 4.5.2.6. Penentuan Tendon Yang Digunakan

Digunakan tendon dengan tipe 7 wire uncoated ASTM A416 dengan nilai dengan spesifikasi sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter} &= 12,7 \text{ mm} \\
 \text{Luas Kawat} &= 100,1 \text{ mm}^2 \\
 \text{Min. Breaking Load} &= 184 \text{ kN} \\
 \text{Tegangan izin baja prategang} \\
 f_{pu} &= \frac{\text{min breaking load}}{A_s} \\
 &= \frac{184000 \text{ N}}{100,1} \\
 &= 1838,16 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tegangan diambil paling minimum dari :

$$\begin{aligned}
 f_{py} &= 0,9 f_{pu} \\
 &= 0,9 \times 1838,16 \text{ MPa} \\
 &= 1654,346 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tegangan tarik pada baja prategang tidak boleh melebihi berikut ini :

- Akibat gaya penarikan (jacking) baja prategang  $0,94 f_{py}$  (***SNI 2847:2013 pasal 18.5.1 a***)  
 $0,94 f_{py} = 0,94 \times 1654,346 \text{ MPa} = 1555,085 \text{ MPa}$
- Tetapi tidak lebih besar dari yang lebih kecil dari  $0,80 f_{pu}$  dan nilai maksimum yang direkomendasikan oleh pembuat baja prategang atau perangkat angkur (***SNI 2847:2013 pasal 18.5.1 a***)  
 $0,80 f_{pu} = 0,80 \times 1838,16 \text{ MPa} = 1470,529 \text{ MPa}$
- Tendon pasca tarik, pada perangkat angkur dan kopler (couplers), sesaat setelah transfer gaya  $0,70 f_{pu}$  (***SNI 2847:2013 pasal 18.5.1 b***)  
 $0,70 f_{pu} = 0,70 \times 1838,16 \text{ MPa} = 1286,71 \text{ MPa}$   
 Maka tegangan yang menentukan adalah yang paling minimum 1286,71 Mpa

Luasan tendon yang diperlukan

$$\begin{aligned}
 A_{ps} &= \frac{F}{f_{st}} \\
 &= \frac{1900000}{1286,71} \\
 &= 1476,63 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Strand

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_{ps}}{A_s} \\
 &= \frac{1476,6}{100,1} \\
 &= 15 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

#### 4.6.2.7. Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan prategang adalah berkurangnya gaya prategang dalam tendon saat tertentu dibanding pada saat stressing. Kehilangan prategang dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori, yaitu:

##### ○ Kehilangan Segera (Kehilangan Langsung)

Kehilangan langsung adalah kehilangan gaya awal prategang sesaat setelah pemberian gaya prategang pada komponen balok prategang. Kehilangan secara langsung terdiri dari :

##### 1. Kehilangan Akibat Perpendekan Elastis (*SNI 2847:2013 pasal 18.6.1.b*)

Dikarenakan jumlah tendon yang digunakan hanya berjumlah 1 buah, maka kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis tidak mempengaruhi.

##### 2. Kehilangan Akibat gesekan (*Wobble Effect*) (*SNI 2847:2013 pasal 18.6.2*)

Perhitungan kehilangan prategang diakibatkan oleh gesekan antara material beton dan baja prategang saat proses pemberian gaya prategang. Kehilangan prategang akibat gesekan (*wobble effect*) dihitung dengan perumusan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \alpha &= 8 \text{ e/L} \\
 &= 8 (215 \text{ mm} / 12000 \text{ mm}) \\
 &= 0,143 \text{ rad} \\
 f_l &= F_o / A_{ps} \\
 &= 1900000 / 1476,6 \\
 &= 1286,71 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

untuk kawat dengan 7 untaian :

$$K = 0,0016 \text{ s/d } 0,006$$

$$= 0,0017$$

$$\mu = 0,15 \text{ s/d } 0,25$$

$$= 0,15$$

$$\Delta f_{pF} = f_i(1 - e^{-\mu\alpha + KL})$$

$$= 1286,71 \text{ MPa } (1 - e^{-0,15 \times 0,143 + 0,0017 \times 12})$$

$$= 52,76 \text{ MPa}$$

$$\% = \Delta f_{pF} / f_p$$

$$= 52,76 \text{ MPa} / 1286,71 \text{ MPa}$$

$$= 4,10\%$$

### 3. Kehilangan Akibat Slip Angkur (*SNI 2847:2013 pasal 18.6.1.a*)

Kehilangan akibat pengangkuran/slip angkur terjadi saat tendon baja dilepas setelah mengalami penarikan dan gaya prategang dialihkan ke angkur.

Rumus perhitungan kehilangan prategang akibat pengangkuran. Cek apakah kehilangan prategang akibat pengangkuran berpengaruh sampai ke tengah bentang :

$$X = \sqrt{\frac{E_s \times g}{f_{pakai} \left( \frac{\mu \times \alpha}{L} + K \right)}} < \frac{L}{2}$$

Dengan ketentuan sebagai berikut :

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$g = 0,8 \text{ mm}$$

$$f_{pakai} = 1286,71 \text{ MPa}$$

$$\mu = 0,15$$

$$K = 0,0017$$

$$\alpha = 0,215 \text{ rad}$$

$$L = 12 \text{ m}$$



$$X = \sqrt{\frac{E_s \times g}{f_p \left( \frac{\mu \times \alpha}{L} + K \right)}} < \frac{L}{2}$$

$$X = \sqrt{\frac{200000 \times 0,8}{1286,71 \left( \frac{0,15 \times 0,143}{12000} + 0,0016 \right)}} < \frac{12000}{2}$$

$$X = 5969,03 \text{ mm} < 6000 \text{ mm (OK)}$$

Sehingga nilai  $\Delta f_{pa}$  :

$$\begin{aligned} \Delta f_{pa} &= 2 \times \left( \frac{\mu \times \alpha}{L} + K \right) X \\ &= 2 \times \left( \frac{0,15 \times 0,143}{12000} + 0,0017 \right) 5969,03 \text{ mm} \\ &= 53,61 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Prosentase kehilangan prategang akibat slip angkur adalah :

$$\begin{aligned} \Delta f_{pa} &= \frac{\Delta f_{pA}}{f_p} \\ &= \frac{53,61}{1286,71} \\ &= 4,17\% \end{aligned}$$

#### 4. Kehilangan Akibat Kekangan Kolom

Konstruksi beton prategang dengan desain cor monolit perlu diperhitungkan kehilangan prategang akibat kekangan kolom. Hal ini terjadi karena saat dilakukan jacking beton terkekang oleh kekakuan kolom. Gaya perlawanan yang diberikan oleh kolom menahan reaksi perpendekan beton akibat gaya jacking yang terjadi. Gaya perlawanan kolom ini menyebabkan berkurangnya gaya prategang karena sebagian gaya prategang yang diberikan digunakan mengatasi perlawanan gaya kolom.

Semakin kaku komponen kolom yang mengekang balok prategang maka semakin besar gaya prategang yang hilang untuk melawan kolom agar mengikuti lenturan balok akibat gaya jacking. Hal ini juga menyebabkan semakin besarnya momen yang diterima kolom sebagai kontribusi dari jacking yang terjadi. Sebaliknya jika kolom didesain tidak kaku maka gaya prategang yang hilang semakin kecil serta momen yang diterima kolom juga berkurang.

Dapat di hitung kahilangan yang terjadi akibat gaya prategang ini. Perumusan yang digunakan untuk kehilangan gaya prategang akibat kekangan kolom ialah sebagai berikut :

$$\Delta P = \frac{M_A - M_B}{h}$$

Dari hasil perhitungan pada ETABS, diperoleh nilai displacement :

Node 1 = 0,11 mm (menentukan)

Node 2 = 0,001 mm

Sehingga didapatkan nilai  $\Delta L = 0,11 \text{ mm}$

Properties Kolom :

Dimensi kolom (600x600)

$L_k = 5000 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} I_k &= 1/12 \times b \times h^3 \\ &= 1/12 \times 600 \text{ mm} \times 600^3 \\ &= 10800000000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Properties Balok :

$L_b = 12000 \text{ mm}$

$I_b = 14298544366 \text{ mm}^4$

$$\begin{aligned} k &= \frac{L_k \times I_b}{L_b \times I_k} \\ &= \frac{5000 \times 14298544366}{12000 \times 10800000000} \\ &= 0,552 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\xi_{bb} &= \Delta L/L \\ &= 0,11 \text{ mm}/5000 \text{ mm} \\ &= 0,000022\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_a &= \frac{3 \times (k+1)}{k \times (k+2)} \times \frac{E_c \times I_b}{L_k} \times \xi_{bb} \\ &= \frac{3 \times (0,552+1)}{0,552 \times (0,552+2)} \times \frac{29725 \times 14298544366}{5000} \times 0,000022 \\ &= 6184556 \text{ N.mm} \\ M_b &= \frac{3}{(k+2)} \times \frac{E_c \times I_b}{L_k} \times \xi_{bb} \\ &= \frac{3}{(0,552+2)} \times \frac{29725 \times 14298544366}{5000} \times 0,000022 \\ &= 2198741 \text{ N.mm}\end{aligned}$$

#### Distribusi Momen Akibat Beban Merata

$$\begin{aligned}M_a &= \frac{1}{(k+2)} \times \frac{W \times L_b^2}{12} \\ &= \frac{1}{(0,552+2)} \times \frac{9,34 \times 12000^2}{12} \\ &= 43939717 \text{ N.mm} \\ M_b &= \frac{-2}{(k+2)} \times \frac{W \times L_b^2}{12} \\ &= \frac{-2}{(0,552+2)} \times \frac{9,34 \times 12000^2}{12} \\ &= -87879434 \text{ N.mm}\end{aligned}$$

#### Distribusi Momen Akibat Eksentrisitas

$$\begin{aligned}M_p &= F_0 \times e \\ &= 1900000 \times 215 \\ &= 408130591 \text{ N.mm} \\ M_a &= \frac{1}{(k+2)} \times M_p \\ &= \frac{1}{(0,552+2)} \times 408130591 \\ &= 159948257,4 \text{ N.mm} \\ M_b &= -2 \times M_a \\ &= -2 \times 159948257,4 \\ &= -319896514,8 \text{ N.mm}\end{aligned}$$

Kehilangan Prategang Akibat Kekangan Kolom :  
 Akibat Perpendekan Kolom

$$\begin{aligned}\Delta P &= \frac{M_A - M_B}{L_b} \\ &= \frac{6184556 - 2198741}{12000} \\ &= 332 \text{ N}\end{aligned}$$

Akibat Beban Merata

$$\begin{aligned}\Delta P &= \frac{M_A - M_B}{h} \\ &= \frac{43939717 - (-87879434)}{12000} \\ &= 10985 \text{ N}\end{aligned}$$

Akibat Eksentrisitas

$$\begin{aligned}\Delta P &= \frac{M_A - M_B}{h} \\ &= \frac{159948257,4 - (-319896514,8)}{12000} \\ &= 39987 \text{ N}\end{aligned}$$

Total Kehilangan Akibat Kekangan Kolom :

$$\begin{aligned}f_{pk} &= 332 + 10985 + 39987 \\ &= 51304 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta f_{pk} &= f_{pk} / A_{ps} \\ &= 51304 \text{ N} / 1476,63 \text{ mm}^2 \\ &= 34,74 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Prosentase kehilangan prategang akibat kekangan kolom adalah :

$$\begin{aligned}\Delta f_{pa} &= \frac{\Delta f_{pk}}{f_p} \\ &= \frac{34,74 \text{ MPa}}{1286,71 \text{ MPa}} \\ &= 2,7 \%\end{aligned}$$

Totak kehilangan tegangan langsung

$$\begin{aligned}\% \text{ Total} &= 0\% + 4,1\% + 4,17\% + 2,7\% \\ &= 10,97\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tegangan Sisa} &= 1286,7 \text{ MPa} \times (100\% - 10,97\%) \\ &= 1145,6 \text{ MPa}\end{aligned}$$

○ **Kehilangan yang tergantung oleh waktu (kehilangan tidak langsung)**

Hilangnya gaya awal yang ada terjadi secara bertahap dan dalam waktu yang relatif lama (tidak secara langsung seketika saat pemberian gaya prategang), untuk itu perhitungan kehilangan gaya prategang tidak langsung dibagi menjadi tiga tahap:

Tahap 1 = 18 jam setelah *jacking*

Tahap 2 = 30 hari setelah *jacking*

Tahap 3 = 720 hari setelah *jacking*

Adapun macam kehilangan tidak langsung adalah sebagai berikut :

a. Tahap 1

• Relaksasi Baja

$$f_{pi} = 0,7 \times f_{pu} = 0,7 \times 1838 = 1286,71 \text{ MPa}$$

$$f_{py} = 0,7 \times f_{pu} = 0,9 \times 1838 = 1654,35 \text{ MPa}$$

$$\text{sehingga } f_{pi} / f_{py} = 0,778 > 0,55$$

kehilangan akibat relaksasi baja :

$$\Delta f_{pr} = f_{pi} \times \left( \frac{\text{Log} t}{10} \right) \times \left( \frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0,55 \right)$$

Diasumsikan transfer terjadi setelah 18 jam dan penyebut suku log adalah 45 (low relaxation steel)

Maka nilai  $\Delta f_{pr}$  :

$$\begin{aligned}\Delta f_{pr} &= 1145,6 \times \left( \frac{18}{45} \right) \times \left( \frac{1286,71}{1654,35} - 0,55 \right) \\ &= 7,28 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Total kehilangan pada tahap I

$$\begin{aligned}f_{pT} &= \Delta f_{pR} + \Delta f_{pCR} + \Delta f_{pSH} \\ &= 7,28 \text{ Mpa} + 0 + 0 \\ &= 7,28 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Tegangan akhir tahap I

$$\begin{aligned} f_{pE1} &= f_i - f_{pt} \\ &= 1145,6 \text{ MPa} - 7,28 \text{ MPa} \\ &= 1138,3 \text{ MPa} \end{aligned}$$

b. Tahap 2

- Relaksasi Baja

$$\begin{aligned} f_{pE1} &= 1138,3 \text{ MPa} \\ f_{py} &= 0,9 \times f_{pu} \\ &= 0,9 \times 1838,16 \text{ MPa} \\ &= 1654,35 \text{ MPa} \end{aligned}$$

sehingga :

$$f_{ps} / f_{py} = 0,688 > 0,55$$

diasumsikan kehilangan terjadi saat penambahan beban mati tambahan yaitu pada hari ke 30

$$\begin{aligned} \Delta f_{pr} &= f_{pE1} \times \left( \frac{\text{Log}t_2 - \text{log}t_1}{10} \right) \times \left( \frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0,55 \right) \\ &= 1079,8 \times \left( \frac{30 \times 24 - 18}{45} \right) \times (0,688 - 0,55) \\ &= 5,596 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Susut

Kehilangan akibat susut

$$K_{SH} = 0,58 \text{ (pemberian prategang pada hari ke-30)}$$

$$E_{PS} = 200000 \text{ MPa}$$

$$RH = 80\%$$

Luas permukaan balok T

$$\begin{aligned} S &= (2 \times b_e \times L + 2 \times h \times L) \\ &= (2 \times 1330 \times 12000 + 2 \times 650 \times 12000) \\ &= 47520000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Volume balok T

$$\begin{aligned} V &= L (b_e \times t_p + b \times (h - t_p)) \\ &= 12000 (1330 \times 110 + 450 \times (650 - 110)) \\ &= 4671600000 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta f_{\text{PSH}} &= 8,2 \times K_{\text{SH}} \times E_{\text{PS}} \times (1 - 0,0236 \text{ V/S}) (100 - \text{RH}) \\
 &= 8,2 \times 0,58 \times 200000 \text{ MPa} \times (1 - 0,0236 \times \\
 &\quad 4671600000 \text{ mm}^3 / 47520000 \text{ mm}^2) (100 - \\
 &\quad 80) \\
 &= 25,1 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- Rangkak
 
$$\begin{aligned}
 K_{\text{CR}} &= 1,6 \text{ (pascatarik)} \\
 n &= E_{\text{PS}} / E_{\text{C}} \\
 &= 200000 / 29725,4 \\
 &= 6,7
 \end{aligned}$$

Momen akibat beban mati saat segera setelah jacking  
 $M_{\text{D}} = 5605,9 \text{ kgm}$

Momen akibat beban mati tambahan saat semua beban telah bekerja (didapatkan dari program bantu ETABS)

$$M_{\text{SD}} = 2013,27 \text{ kgm}$$

Tegangan akibat beban mati saat segera setelah jacking

$$\begin{aligned}
 P_i &= f_{\text{pi}} \times A_{\text{ps}} \times n \\
 &= 1145,6 \text{ Mpa} \times 100,1 \text{ mm}^2 \times 15 \\
 &= 1720093,95 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{\text{cs}} &= -\frac{P_i}{A_{\text{c}}} - \frac{P_i \times e^2}{I_{\text{c}}} + \frac{M_{\text{d}} \times e}{I_{\text{c}}} \\
 &= -\frac{1720093,95 \text{ N}}{358660,31} - \frac{1720093,95 \times 214,81^2}{14298544366} + \frac{56059200 \times 214,81}{14298544366} \\
 &= 9,505 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{csd} &= \frac{M_{sd} \times e}{I_c} \\
 &= \frac{20132700 \times 214,81}{14298544366} \\
 &= 0,302 \text{ MPa} \\
 \Delta f_{pCR} &= n \times K_{CR} \times (f_{cs} - f_{csd}) \\
 &= 6,7 \times 1,6 \times (9,505 \text{ MPa} - 0,3 \text{ MPa}) \\
 &= 99,061 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Total kehilangan pada tahap II :

$$\begin{aligned}
 f_{pT} &= \Delta f_{pR} + \Delta f_{pCR} + \Delta f_{pSH} \\
 f_{pT} &= 5,596 \text{ MPa} + 99,061 \text{ MPa} + 25,1 \text{ MPa} \\
 &= 129,8 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Peningkatan tegangan akibat penambahan beban :

$$\begin{aligned}
 f_{sd} &= n \times f_{csd} \\
 &= E_s/E_c \times f_{cds} \\
 &= 6,73 \times 0,3 \text{ MPa} \\
 &= 2,03 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tegangan akhir pada tahap II

$$\begin{aligned}
 f_{pE2} &= f_{pE1} - f_{pT} + f_{sd} \\
 &= 1138,3 \text{ MPa} - 129,8 \text{ MPa} + 2,035 \text{ MPa} \\
 &= 1010,6 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

c. Tahap 3

- Relaksasi Baja

$$\begin{aligned}
 f_{pE2} &= 1010,6 \text{ MPa} \\
 f_{py} &= 0,9 \times f_{pu} \\
 &= 1654,35 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$



sehingga :

$$\frac{f_{pi}}{f_{py}} = \frac{1010,6 \text{ MPa}}{1654,35 \text{ MPa}} \\ = 0,61 > 0,55$$

diasumsikan kehilangan terjadi selama rentang waktu antara hari ke-30 hingga hari ke-720

$$\Delta f_{pR} = f_{pE2} \times \left( \frac{\text{Log}t2 - \text{log}t1}{45} \right) \times \left( \frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0,55 \right) \\ = 1010,6 \times \left( \frac{720 \times 24 - 30 \times 24}{45} \right) \times (0,61 - 0,55) \\ = 1,89 \text{ MPa}$$

Total kehilangan prategang :

$$f_{pt} = f_{pR} = 1,89 \text{ MPa}$$

Tegangan akhir Tahap 3

$$f_{pE3} = f_{pE2} - f_{pT} \\ = 1010,6 \text{ MPa} - 1,89 \text{ Mpa} \\ = 1008,68 \text{ MPa}$$

**Tabel 4. 34** Total Kehilangan Gaya Prategang

Level Tegangan Tiap Tahap	Tegangan Baja	Persen
	MPa	%
<b>Tegangan Efektif</b> Sesudah penarikan	<b>1286,7</b>	<b>100%</b>
<b>Kehilangan Langsung</b>		
Perpendekan Elastis	0	0
Slip Angkur	53,61	4,2%
Wobble Effect	52,78	4,1%
Kekangan Kolom	34,74	2,7%
<b>Kehilangan Tak Langsung</b>		
Rangkak	99,06	7,7%
Susut	25,11	2,0%
Relaksasi Baja	15,20	1,2%
<b>Total Kehilangan</b>	<b>280,06</b>	<b>21,8%</b>

<b>Penambahan</b>		
Overtopping	2,03	0,2%
Total Penambahan	<b>2,03</b>	<b>0,2%</b>
<b>Tegangan Efektif</b>	1008,68	78,4%

#### 4.6.2.8. Kontrol Gaya Prategang Setelah Kehilangan

$$\begin{aligned}
 f_e &= 1008,68 \text{ MPa} \\
 \text{jumlah strands} &= 15 \text{ buah} \\
 \text{luasan kawat} &= 100,1 \text{ mm}^2 \\
 F_{\text{efektif}} &= f_e \times \text{jumlah strands} \times \text{luas kawat} \\
 &= 1008,68 \text{ MPa} \times 15 \text{ buah} \times 100,1 \text{ mm}^2 \\
 &= 1514538,57 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Tegangan pada Lapangan

a. Serat Atas

$$\begin{aligned}
 \sigma_{tr} &< -\frac{f_o}{A} + \frac{f_o \times e}{W_t} - \frac{M_t}{W_t} \\
 -3,92 &< \frac{1514538,57}{358660,31} + \frac{1514538,57 \times 214,8}{51957972,35} - \frac{115344339,4}{51957972,35} \\
 -3,92 \text{ MPa} &< -0,2 \text{ MPa (OKE)}
 \end{aligned}$$

b. Serat Bawah

$$\begin{aligned}
 \sigma_{tk} &< \frac{f_o}{A} - \frac{f_o \times e}{W_b} + \frac{M_t}{W_b} \\
 -24 &< \frac{1514538,57}{358660,31} + \frac{1514538,57 \times 214,8}{38149230,83} - \frac{115344339,4}{38149230,83} \\
 -24 \text{ MPa} &< -9,727 \text{ MPa (OKE)}
 \end{aligned}$$

Tegangan pada Tumpuan

a. Serat Atas

$$\begin{aligned}
 \sigma_{tr} &< -\frac{f_o}{A} + \frac{f_o \times e}{W_t} - \frac{M_t}{W_t} \\
 3,92 &> \frac{1514538,57}{358660,31} + \frac{1514538,57 \times 55}{51957972,35} - \frac{164829932}{51957972,35} \\
 3,92 \text{ MPa} &> -2,654 \text{ MPa (OKE)}
 \end{aligned}$$

b. Serat Bawah

$$\sigma_{tk} > \frac{f_o}{A} - \frac{f_o \times e}{W_b} + \frac{M_t}{W_b}$$

$$\begin{aligned}
 -24 &> \frac{1514538,57}{358660,31} + \frac{1514538,57 \times 55}{38149230,83} - \frac{164829932}{38149230,83} \\
 -24 \text{ MPa} &> -6,36 \text{ MPa (OKE)}
 \end{aligned}$$

#### 4.6.2.9. Daerah Limit Kabel

$$\begin{aligned}
 a_{\max} &= M_t / F_e \\
 &= 164829932 / 1514538,57 \\
 &= 108,83 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}
 A_{\max} &< (y_b + k_t - d') \\
 108,83 \text{ mm} &< (374,81 + 106 - 72,5) \\
 108,83 \text{ mm} &< 409 \text{ mm (OKE)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_{\min} &= M_d / F_0 \\
 &= 56059200 / 1900000 \\
 &= 29,505 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Selisih syarat} &= a_{\min} - (y_b - k_b - -d') \\
 &= 29,505 - (473 - 108 - 65) \\
 &= -164 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Sehingga  $e_{\text{lapangan}}$  :

$$\begin{aligned}
 a_{\max} - k_t &< e_{\text{lapangan}} < k_b + a_{\min} - \text{selisih} \\
 109 - 106 &< 214,8 \text{ mm} < 108 + 30 + 164 \\
 2 \text{ mm} &< 214,8 \text{ mm} < 302 \text{ mm (OKE)}
 \end{aligned}$$

$e_{\text{tumpuan}}$  :

$$\begin{aligned}
 e_{\text{tumpuan}} &< k_t \\
 55 \text{ mm} &< 106,37 \text{ mm (OKE)}
 \end{aligned}$$

#### 4.6.2.10. Kontrol Lendutan

Kemampuan layan struktur beton pratekan ditinjau dari perilaku defleksi komponen tersebut. Elemen beton bertulang memiliki dimensi yang lebih langsing dibanding beton bertulang biasa sehingga kontrol lendutan sangat diperlukan untuk

memenuhi batas layan yang diisyaratkan. Lendutan yang diijinkan menurut SNI 2847:2013 tabel 9.5.b adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\Delta_{izin} &= L/480 \\ &= 12000/480 \\ &= 25 \text{ mm}\end{aligned}$$

#### 4.6.1. Lendutan Saat Jacking

- Akibat Tekanan Tendon

$$\begin{aligned}P_o &= \frac{8 \times f_o \times f}{L^2} \\ &= \frac{8 \times 1900000 \times 214,8}{12000^2} \\ &= 22,67 \text{ N/mm} \\ \Delta l_{p_o} &= \frac{5 \times P_o \times L^4}{384 \times E_c \times I} \\ &= \frac{5 \times 22,67 \times 12000^4}{384 \times 29725,41 \times 10298437500} \\ &= -19,998 \text{ mm } (\uparrow)\end{aligned}$$

- Akibat Eksentrisitas Tepi Balok

$$\begin{aligned}\Delta l_{me} &= \frac{F_o \times e \times L^2}{8 \times E_c \times I} \\ &= \frac{1900000 \times 55 \times 12000^2}{8 \times 29725,41 \times 10298437500} \\ &= 6,144 \text{ mm } (\downarrow)\end{aligned}$$

- Akibat Berat Sendiri Balok dan Pelat

$$\begin{aligned}\Delta l_{q_o} &= \frac{5 \times q_o \times L^4}{384 \times E_c \times I} \\ &= \frac{5 \times 9,343 \times 12000^4}{384 \times 29725,41 \times 10298437500} \\ &= 8,241 \text{ mm } (\downarrow)\end{aligned}$$

- Total Lendutan saat Transfer

$$\begin{aligned}\Delta_{tr} &= \Delta l_{p_o} + \Delta l_{me} + \Delta l_{q_o} \\ &= -20 + 6,14 + 8,241 \\ &= -5,613 \text{ mm } (\uparrow)\end{aligned}$$

Syarat :

$$\Delta_{izin} > \Delta_{tr}$$

$$25 \text{ mm} > -5,613 \text{ mm (OKE)}$$

#### 4.6.2. Lendutan Saat Servis

- Akibat Tekanan Tendon

$$\begin{aligned} P_o &= \frac{8 \times F_e \times f}{L^2} \\ &= \frac{8 \times 1514538,6 \times 214,8}{12000^2} \\ &= 18,07 \text{ N/mm} \\ \Delta l_{p_o} &= \frac{5 \times P_o \times L^4}{384 \times E_c \times I} \\ &= \frac{5 \times 18,074 \times 12000^4}{384 \times 29725,41 \times 10298437500} \\ &= -15,94 \text{ mm } (\uparrow) \end{aligned}$$

- Akibat Eksentrisitas Tepi Balok

$$\begin{aligned} \Delta l_{me} &= \frac{F_o \times e \times L^2}{8 \times E_c \times I} \\ &= \frac{1514538,57 \times 55 \times 12000^2}{8 \times 29725,41 \times 10298437500} \\ &= 4,898 \text{ mm } (\downarrow) \end{aligned}$$

- Akibat Berat Sendiri Balok, Pelat, Dan Beban Tambahan

Dalam perhitungan lendutan saat beban layan merupakan akibat berat sendiri balok pratekan, pelat, beban mati tambahan dan beban hidup, nilai lendutan didapat langsung dari analisa ETABS. Berdasarkan output ETABS lendutan akibat tendon didapatkan sebesar

$$\Delta l_{qo} = 16,464 \text{ mm } (\downarrow)$$

- Total Lendutan  

$$\Delta_{tr} = \Delta l_{p_o} + \Delta l_{me} + \Delta l_{q_o}$$

$$= -15,9 + 4,9 + 16,464$$

$$= 5,42 \text{ mm } (\downarrow)$$

Syarat :

$$\Delta_{izin} > \Delta_{tr}$$

$$25 \text{ m} > 5,42 \text{ mm (OKE)}$$

#### 4.6.3. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Lunak

##### 4.6.3.1. Data Perencanaan

Tipe balok	= BP (45/65)
Bentang balok (L)	= 12000 mm
Lebar balok (b)	= 450 mm
Tinggi balok (h)	= 650 mm
Kuat tekan beton ( $f'_c$ )	= 40 MPa
Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ )	= 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ )	= 280 MPa
Kuat leleh tulangan puntir ( $f_{yt}$ )	= 400 MPa
Diameter tulangan lentur (D torsi)	= 25 mm
Diameter tulangan lentur (D lentur)	= 25 mm
Diameter tulangan geser (D geser)	= 10 mm
Jarak spasi tulangan sejajar	= 25 mm
Jarak spasi tulangan antar lapis	= 25 mm
Tebal selimut beton (t decking)	= 50 mm
Fakto reduksikekuatan lentur ( $\phi$ )	= 0,8
Faktor reduksi kekuatan geser ( $\phi$ )	= 0,75
Faktor reduksi kekuatan puntir ( $\phi$ )	= 0,75

Tinggi efektif balok :

$$d = h - \text{decking} - \text{Øsengkang} - \frac{1}{2} D \text{ lentur}$$

$$= 650 \text{ mm} - 50 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{1}{2} \cdot 25 \text{ mm}$$

$$= 577,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 d' &= h - d \\
 &= 650 \text{ mm} - 577,5 \text{ mm} \\
 &= 72,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Karena mutu beton berada di atas 28 MPa, maka nilai  $\beta_1$ , kita gunakan perumusan sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 12.2.7.3 :

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0,85 - 0,05 \frac{(f'_c - 28)}{7} \\
 &= 0,85 - \frac{0,05(40 - 28)}{7} \\
 &= 0,754
 \end{aligned}$$

Perencanaan kebutuhan tulangan lunak didasarkan pada gaya gempa yang terjadi. Besarnya gaya gempa yang terjadi diperoleh dari analisa ETABS sebagai berikut :

Torsi	= 25012245 N.mm
Momen Tumpuan	= 336574264 N.mm
Momen Lapangan	= 239557900 N.mm
Geser	= 172825,83 N

#### 4.6.3.2. Perhitungan Penulangan Puntir

- Momen Puntir Ultimate :  
 $T_u = 25012245 \text{ Nmm}$
- Geser Ultimate  
 $V_u = 176365,8 \text{ N}$
- Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton  
 $A_{cp} = b \times h$   
 $= 450 \text{ mm} \times 650 \text{ mm}$   
 $= 292500 \text{ mm}^2$
- Perimeter luasan irisan penampang beton  $A_{cp}$   
 $P_{cp} = 2 \times (b + h)$   
 $= 2 \times (450 \text{ mm} + 650 \text{ mm})$   
 $= 2200 \text{ mm}$

- Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang
 
$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= (b_{\text{balok}} - 2t_{\text{decking}} - D_{\text{geser}}) \times (h_{\text{balok}} - 2t_{\text{decking}} - D_{\text{geser}}) \\
 &= (450\text{mm} - (2 \times 50\text{mm}) - 10\text{mm}) \times (650\text{mm} - (2 \times 50\text{mm}) - 10\text{mm}) \\
 &= 183600 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$
- Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang
 
$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 \times ((b_{\text{balok}} - 2t_{\text{decking}} - D_{\text{geser}}) + (h_{\text{balok}} - 2t_{\text{decking}} - D_{\text{geser}})) \\
 &= 2 \times (450\text{mm} - (2 \times 50\text{mm}) - 10\text{mm}) \times (650\text{mm} - (2 \times 50\text{mm}) - 10\text{mm}) \\
 &= 1760 \text{ mm}
 \end{aligned}$$
- Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor  $T_u$  besarnya kurang dariada:
 
$$\begin{aligned}
 T_{u_{\min}} &= \phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 T_{u_{\min}} &= \phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 T_{u_{\min}} &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \sqrt{40} \left( \frac{292500^2}{2200} \right) \\
 T_{u_{\min}} &= 15372308 \text{ Nmm} \\
 \text{Cek Pengaruh Momen Puntir} \\
 \text{Syarat :} \\
 T_{u_{\min}} &< T_u \\
 15372308 \text{ Nmm} &< 25012245 \text{ Nmm} \\
 &\rightarrow \text{memerlukan tulangan puntir} \\
 \text{❖ Jadi, penampang balok memerlukan penulangan puntir}
 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.5.2.2 Pada struktur statis tak tentu dimana reduksi momen torsi pada komponen struktur dapat terjadi akibat redistribusi



gaya-gaya dalam dengan adanya keretakan,  $T_u$  maksimum boleh direduksi menjadi:

Untuk komponen struktur prategang

$$\begin{aligned} T_{u_{\max}} &= \phi \cdot 0,33 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{f_{pc}}{0,33 \lambda \sqrt{f'_c}}} \\ &= 0,75 \cdot 0,33 \cdot \sqrt{40} \cdot \left( \frac{(292500)^2}{2700} \right) \sqrt{1 + \frac{4,223}{0,33 \sqrt{40}}} \\ &= 106914665 \text{ Nmm} > T_u = 25012245 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Digunakan  $T_u = 25012245$ , sehingga :

Momen puntir nominal

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{25012245 \text{ Nmm}}{0,75} = 33349659 \text{ Nmm}$$

- Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir  
Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

$$\begin{aligned} \sqrt{\left( \frac{V_u}{B_w \cdot d} \right)^2 + \left( \frac{T_u \cdot Ph}{1,7 A_{oh}^2} \right)^2} &\leq \phi \left( \frac{\frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \times b_w \times d}{B_w \cdot d} + \frac{2 \sqrt{f'_c}}{3} \right) \\ \sqrt{\left( \frac{176365,8}{450 \times 577,5} \right)^2 + \left( \frac{25012245 \times 1760}{1,7 (183600)^2} \right)^2} &\leq 0,75 \left( \frac{\frac{1}{6} \sqrt{40} \times 450 \times 577,5}{450 \times 577,5} + \frac{2 \sqrt{40}}{3} \right) \end{aligned}$$

$$0,679 < 3,291 \rightarrow \text{Memenuhi}$$

❖ Jadi, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir

- Perhitungan Tulangan Puntir Untuk Lentur

Untuk menahan puntir sesuai dengan **SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.7** direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_l = \frac{A_t}{s} Ph \left( \frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \theta$$

Dengan  $\frac{A_t}{s}$  dihitung sesuai dengan **SNI 2847:2013**

**pasal 11.5.3.6** berasal dari persamaan di bawah :

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_t \times F_{yt}}{s} \cot^2 \theta$$

Untuk beton prategang  $\theta$  harus memenuhi syarat :

$$A_{ps}.f_{se} \geq 0,4(A_{ps}.f_{pu} + A_s.f_y)$$

$$1501,5 \times 1008,68 \geq 0,4(1501,5 \times 1836,16 + 2454,37 \times 400)$$

$$1514539 \text{ N} \geq 1104121 \text{ N}$$

Maka digunakan  $\theta = 37,5^\circ$

Dimana,

$$A_o = 0,85 \times A_{oh}$$

$$= 0,85 \times 183600 \text{ mm}^2$$

$$= 156060 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times f_{yt} \times \cot(\theta)}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{33349659,33}{2 \times 156060 \times 280 \times \cot(37,5)}$$

$$\frac{A_t}{s} = 0,293 \text{ mm}$$

$$A_l = 0,293 \times 1760 \times \left(\frac{280}{400}\right) \cot^2 37,5$$

$$A_l = 612,692 \text{ mm}^2$$

❖ Jadi, tulangan puntir untuk lentur 612,692 mm<sup>2</sup>

- Sesuai dengan **SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.3** tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan ketentuan

$$\begin{aligned} A_{l \min} &= \frac{0,42 \sqrt{f_c'} \times A_{cp}}{F_y} - \left(\frac{A_t}{s}\right) P_h \frac{F_{yt}}{F_y} \\ &= \frac{0,42 \sqrt{40} \times 292500}{400} - 0,293 \times 1760 \frac{280}{400} \\ &= 1566,27 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dengan  $\frac{A_t}{s}$  tidak boleh kurang dari :  $0,175 \frac{b_w}{f_{yt}}$

$$\frac{A_t}{s} > 0,175 \frac{b_w}{f_{yt}}$$

$$0,292 > 0,175 \frac{450}{280}$$

$$0,292 > 0,281 \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Kontrol :

$A_l \text{ perlu} \geq A_l \text{ min} \rightarrow \text{gunakan } A_l \text{ perlu}$

$612,69 \leq 1566,27 \rightarrow \text{gunakan } A_l \text{ min}$

❖ Jadi, tulangan puntir perlu sebesar 1566,27 mm<sup>2</sup>

- Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok

$$\frac{A_l}{4} = \frac{1566,27}{4} = 391,566 \text{ mm}^2$$

pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok

pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok

❖ Maka :

- Sisi atas dan sisi bawah balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar =

$$2 \times \frac{A_l}{4} = 2 \times \frac{1566,27}{4} = 783,133 \text{ mm}^2$$

- Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$n = \frac{A_s}{\text{Luasan D puntir}}$$

$$n = \frac{783,133 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \pi 16^2}$$

$$n = \frac{783,133 \text{ mm}^2}{804,25}$$

$$= 3,89 \approx 4 \text{ buah}$$

- Luasan tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$\begin{aligned} A_s &= n \times \text{Luasan } D_{\text{puntir}} \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= 804,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$

$$804,25 \text{ mm}^2 \geq 783,133 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

❖ Jadi, dipasang tulangan puntir lapangan dan tumpuan sebesar 4D19

#### 4.6.3.3. Perhitungan Penulangan Lentur

- Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left( \frac{600}{600 + F_y} \right) \times d \\ &= \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \times 577,5 \\ &= 346,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 346,5 \\ &= 259,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 72,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

- Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ C_c' &= 0,85 \times 40 \times 450 \times 0,764 \times 150 \\ C_c' &= 1730430 \text{ N} \end{aligned}$$

- Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{C c'}{F_y} \\ &= \frac{1730430}{400} \\ &= 4326,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times F_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\ &= 4326,08 \times 400 \times \left( 577,5 - \frac{0,764 \times 200}{2} \right) \\ &= 901467509 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- a. Daerah Tumpuan

Momen tumpuan = 336574264 Nmm

- Momen lentur nominal ( $M_n$ )

$$M_{u_{\text{tumpuan}}} = 336574264 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_{ux}}{\phi} \\ &= \frac{336574264}{0,9} \\ &= 373971404,4 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 373971404,4 - 901467509 \\ &= -527496104 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$$M_{ns} = -527496104 < 0$$

$\rightarrow$  (Tidak memerlukan tulangan lentur tekan)

- ❖ Jadi analisis berikutnya untuk perhitungan balok digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 40} = 11,8$$

Menurut **SNI 2847:2013 pasal 10.5.1**, syarat  $\rho_{min}$  :

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{F_y} = \frac{0,25 \sqrt{40}}{400} = 0,00395$$

yang menentukan  $\rho_{min} = 0,0035$

$$\rho_{max} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1)}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{336574264}{0,9 \times 300 \times 577,5^2} = 2,49 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 f_c'}} \right] \\ &= \frac{0,85 \times 40}{400} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,49}{0,85 \times 40}} \right] \\ &= 0,0065 \end{aligned}$$

Kontrol Syarat:

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0031 < 0,0065 < 0,025 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- Luasan perlu (As perlu) tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0065 \times 450 \times 577,5 \\ &= 1683 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luasan tulangan puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur tarik

$$\frac{A_l}{4} = 391,57 \text{ mm}^2$$

- Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= A_{s \text{ perlu tul. Lentur tarik}} + A_{s \text{ tul. Puntir untuk tul. lentur tarik}} \\ &= 1683 \text{ mm}^2 + 391,57 \text{ mm}^2 \\ &= 2074,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luasan } D \text{ lentur}} \\ &= \frac{2074,6}{\frac{1}{4} \pi 25^2} \\ &= 4,18 \text{ buah} \approx 5 \text{ buah} \end{aligned}$$

- Luasan tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\ &= 2454,37 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol Syarat:

$$A_{s \text{ pasang}} > A_{s \text{ perlu}} \\ 2454,37 \text{ mm}^2 > 2074,6 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- Luasan pasang ( $A_s'$ ) tulangan lentur tekan  
 $A_s' \text{ perlu} = \text{Luasan tulangan lentur tarik} + \text{luasan tambahan torsi longitudinal sisi atas balok}$

$$\begin{aligned} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ &= 0 + 391,57 = 391,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan Dlentur}} \\
 &= \frac{391,57}{\frac{1}{4}\pi 25^2} \\
 &= 0,80 \approx 3 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

- Luasan tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\
 &= 1472,62 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol Syarat:

As pasang > As perlu

$$1472,62 \text{ mm}^2 > 391,57 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Direncanakan :

✓ Tulangan tarik = 1 lapis (5D25)

✓ Tulangan tekan = 1 lapis (3D25)

Kontrol tulangan tarik 1 lapis

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n-1} \\
 &= \frac{450 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (5 \times 25)}{5-1} \\
 &= 51,25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

S maks ≥ S syarat agregat

$$51,25 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

Kontrol tulangan tekan 1 lapis

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n-1} \\
 &= \frac{450 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (3 \times 25)}{3-1} \\
 &= 127,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



$S_{maks} \geq S$  syarat agregat

$127,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \rightarrow (\text{Memenuhi})$

- Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik terpenuhi ( $S_{max} \geq 25 \text{ mm}$ ) , maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis

- o Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negative yang disediakan pada muka joint tersebut. Baik kekuatan momen negatif pada sebarang penampang sepanjang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint tersebut.

$M_{\text{lentur tumpuan}(+) } \geq 1/2 \times M_{\text{lentur tumpuan}(-)}$

(SNI 2847:2013, Pasal 21.5.2.2)

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\ &= 2454,37 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\ &= 1472,62 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$M_{\text{lentur tumpuan}(+) } \geq 1/2 \times M_{\text{lentur tumpuan}(-)}$

$$1472,62 \text{ mm}^2 \geq 1/2 \times 2454,37 \text{ mm}^2$$

$$1472,62 \text{ mm}^2 \geq 1227,18 \text{ mm}^2 (\text{Memenuhi})$$

- o Kontrol Kondisi Penampang

Tinggi balok tegangan persegi ekivalen

$$\alpha = \frac{A_{s \text{ pakai}} \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} = \frac{2454,37 \times 400}{0,85 \times 40 \times 450} = 64,17 \text{ mm}$$

Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{\alpha}{\beta_1} = \frac{64,17}{0,754} = 85,1 \text{ mm}$$

$$0,375 \text{ dt} = 0,375 \times 577,5 = 216,563 \text{ mm}$$

Syarat :

$$c \leq 0,375 \text{ dt} \rightarrow \text{kondisi terkontrol Tarik}$$

$$85,1 \text{ mm} \leq 216,563 \text{ mm} \text{ (asumsi benar, } \phi = 0,9 \text{)}$$

○ Kontrol Regangan

$$\begin{aligned} \varepsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{577,5 - 85,10}{85,10} \times 0,003 \\ &= 0,017 > 0,005 \end{aligned}$$

Jadi, balok prategang termasuk pada penampang terkendali tarik dengan faktor reduksi  $\phi = 0,9$ .

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \times F_y \times \left( d - \frac{\alpha}{2} \right) \\ &= 2452,369 \times 400 \times \left( 577,5 - \frac{64,17}{2} \right) \\ &= 540186283,8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka:

$M_n \text{ pasang} > M_n \text{ perlu}$

$$540186283,8 \text{ Nmm} > 373971404,4 \text{ Nmm (OK)}$$

❖ Maka pada balok prategang untuk daerah tumpuan:

✓ Tulangan lentur tarik susun 1 lapis

Lapis 1 = 5D25

✓ Tulangan lentur tekan susun 1 lapis

Lapis 1 = 3D25

b. Daerah Lapangan

$$\text{Momen lapangan} = 239557900 \text{ Nmm}$$

○ Momen lentur nominal ( $M_n$ )

$$M_{u_{\text{lapangan}}} = 239557900 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_{ux}}{\phi} \\
 &= \frac{239557900}{0,9} \\
 &= 266175444 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

- Cek momen nominal tulangan lentur rangkap  
 Syarat :  
 $M_{ns} > 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan  
 $M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan  
 $M_{ns} = M_n - M_{nc}$   
 $= 266175444 - 901467509$   
 $= -635292064,5 \text{ Nmm}$   
 Maka,  
 $M_{ns} < 0$   
 $M_{ns} = -635292064,5 < 0$   
 $\rightarrow$  (Tidak memerlukan tulangan lentur tekan)  
 ❖ Jadi analisis berikutnya untuk perhitungan balok digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

#### Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 40} = 11,8$$

Menurut **SNI 2847:2013 pasal 10.5.1**, syarat  $\rho_{min}$  :

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{F_y} = \frac{0,25 \sqrt{40}}{400} = 0,00395$$

yang menentukan  $\rho_{min} = 0,0035$

$$\rho_{max} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1)}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{239557900}{0,9 \times 300 \times 577,5^2} = 1,77 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{11,8} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,8 \cdot 1,77}{0,85 \cdot 40}} \right] \\ &= 0,0046\end{aligned}$$

Kontrol Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0031 < 0,0046 < 0,025 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- Luasan perlu (As perlu) tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0046 \times 450 \times 577,5 \\ &= 1184 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Luasan tulangan puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur tarik

$$\frac{A_l}{4} = 391,57 \text{ mm}^2$$

- Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$\begin{aligned}A_s \text{ perlu} &= A_s \text{ perlu tul. Lentur tarik} + A_s \text{ tul. Puntir untuk tul. lentur tarik} \\ &= 1184 \text{ mm}^2 + 391,57 \text{ mm}^2 \\ &= 1575,6 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Jumlah tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned}n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_{s \text{ Dlentur}}} \\ &= \frac{1575,6}{\frac{1}{4} \pi 25^2} \\ &= 3,21 \approx 4 \text{ buah}\end{aligned}$$

- Luasan tulangan lentur tarik
 
$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\ &= 1963,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol Syarat:  
 $\text{As pasang} > \text{As perlu}$   
 $1963,5 \text{ mm}^2 > 1575,6 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$
- Luasan pasang ( $\text{As}'$ ) tulangan lentur tekan
 
$$\begin{aligned} \text{As' perlu} &= \text{Luasan tulangan lentur tarik} + \text{luas} \\ &\quad \text{tambahan torsi longitudinal sisi atas} \\ &\quad \text{balok} \\ &= \text{As} + \frac{\text{At}}{4} \\ &= 0 + 391,57 = 391,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$
- Jumlah tulangan lentur tekan
 
$$\begin{aligned} \text{As perlu} \\ n &= \frac{\text{Luasan D lentur}}{391,57} \\ &= \frac{1}{4} \pi 25^2 \\ &= 0,80 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$
- Luasan tulangan lentur tekan
 
$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\ &= 981,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol Syarat:  
 $\text{As pasang} > \text{As perlu}$   
 $981,75 \text{ mm}^2 > 391,57 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$
- Kontrol jarak spasi tulangan pakai
 

Direncanakan :

  - ✓ Tulangan tarik = 1 lapis (4D25)
  - ✓ Tulangan tekan = 1 lapis (2D25)

Kontrol tulangan tarik 1 lapis

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n-1} \\
 &= \frac{300 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (4 \times 25)}{4-1} \\
 &= 76,67 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$S_{\max} \geq S$  syarat agregat

$$76,67 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

Kontrol tulangan tekan 1 lapis

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n-1} \\
 &= \frac{300 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (2 \times 25)}{2-1} \\
 &= 280 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$S_{\max} \geq S$  syarat agregat

$$280 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik terpenuhi ( $S_{\max} \geq 25 \text{ mm}$ ) , maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis

- o Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negative yang disediakan pada muka joint tersebut. Baik kekuatan momen negatif pada sebarang penampang sepanjang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint tersebut.

$$M \text{ lentur lapangan}(+) \geq 1/4 \times M \text{ lentur tumpuan}(-)$$

**(SNI 2847:2013, Pasal 21.5.2.2)**

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\
 &= 5 \times 0,25 \pi \times 25^2 \\
 &= 2454,37 \text{ mm}^2 \\
 A_s' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \pi \times 25^2 \\
 &= 981,75 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{lentur}}(\text{lapangan}(+)) &\geq \frac{1}{4} M_{\text{lentur}}(\text{tumpuan}(-)) \\
 981,75 \text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{4} 2454,37 \text{ mm}^2 \\
 981,75 \text{ mm}^2 &\geq 613,59 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

○ Kontrol Kondisi Penampang

Tinggi balok tegangan persegi ekivalen

$$\alpha = \frac{A_{s\text{pakai}} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{1963,5 \times 400}{0,85 \times 40 \times 450} = 51,33 \text{ mm}$$

Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{\alpha}{\beta_1} = \frac{51,33}{0,754} = 68,081 \text{ mm}$$

$$0,375 \text{ dt} = 0,375 \times 577,5 = 216,563 \text{ mm}$$

Syarat :

$$c \leq 0,375 \text{ dt} \rightarrow \text{kondisi terkontrol Tarik}$$

$$68,081 \text{ mm} \leq 216,563 \text{ mm} \text{ (asumsi benar, } \phi = 0,9)$$

○ Kontrol Regangan

$$\begin{aligned}
 \epsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{577,5 - 68,081}{68,081} \times 0,003 \\
 &= 0,022 > 0,005
 \end{aligned}$$

Jadi, balok prategang termasuk pada penampang terkendali tarik dengan faktor reduksi  $\phi = 0,9$ .

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ pasang} &= A_s \times F_y \times \left( d - \frac{\alpha}{2} \right) \\
 &= 1963,5 \times 400 \times \left( 577,5 - \frac{51,33}{2} \right) \\
 &= 436432709,5 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka:

$M_n \text{ pasang} > M_n \text{ perlu}$

$436432709,5 \text{ Nmm} > 266175444 \text{ Nmm (OK)}$

❖ Maka pada balok prategang untuk daerah tumpuan:

✓ Tulangan lentur tarik susun 1 lapis

Lapis 1 = 4D25

✓ Tulangan lentur tekan susun 1 lapis

Lapis 1 = 2D25

#### 4.6.3.4. Perhitungan Penulangan Geser

- Perhitungan Tulangan Geser pada Daerah Tumpuan

$$\begin{aligned}
 d_p &= e_{\text{tumpuan}} + y_b \\
 &= 80 \text{ mm} + 374,81 \text{ mm} \\
 &= 454,81 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tetapi nilai  $d_p$  tidak boleh diambil kurang dari  $0,8h$

$$\begin{aligned}
 d_p \text{ min} &= 0,8 \times h \\
 &= 0,8 \times 650 \text{ mm} \\
 &= 520 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, nilai  $d_p$  diambil sebesar 520 mm

$$\begin{aligned}
 f_{pc} &= F_e / A_c \\
 &= 1514538,6 \text{ N} / 358660,3 \text{ mm}^2 \\
 &= 4,223 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_p &= F_e \times \frac{e_{l-et}}{\frac{l}{2}} \\
 &= 1514538,6 \times \frac{214,8-55}{\frac{12000}{2}} \\
 &= 40338 \text{ N}
 \end{aligned}$$



Digunakan nilai  $\lambda = 1$

$$\begin{aligned} V_{cw} &= (0,29\lambda\sqrt{f_c} + 0,3f_{pc})b_w d_p + V_p \\ &= (0,29 \times 1 \times \sqrt{40} + 0,3 \times 4,223)450 \times 520 + 40338 \\ &= 780760,6 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{pe} &= \frac{F_e}{A_c} + \frac{F_e \times e_{\text{tumpuan}}}{W_b} \\ &= \frac{1514538,6}{358660,3} + \frac{1514538,6 \times 55}{38149230,8} \\ &= 6,406 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_d &= M_d \text{ tumpuan} / W_b \\ &= 164829932 \text{ N.mm} / 38149230,8 \\ &= 4,321 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{cre} &= \left( \frac{I}{y_t} \right) \times (0,5\lambda\sqrt{f_c} + f_{pe} - f_d) \\ &= \left( \frac{14298544366}{275,19} \right) \times (0,5 \times 1 \times \sqrt{40} + 6,406 - 4,321) \\ &= 272670351 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{ci} &= 0,05 \times \lambda \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d_p + V_d + \frac{V_l \times M_{cre}}{M_{\max}} \\ &= 0,05 \times 1 \times \sqrt{40} \times 450 \times 520 + 56059,2 + \frac{176365,8 \times 272670351}{336574264} \\ &= 272936,48 \text{ N} \end{aligned}$$

Digunakan nilai yang paling minimum antara  $V_{cw}$  dan  $V_{ci}$ , maka digunakan nilai  $V_{ci} = 223265,62 \text{ N}$

$$\begin{aligned} V_{c\min} &= 0,17 \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{40} \times 450 \times 577,5 \\ &= 279410,95 \text{ N} \end{aligned}$$

Digunakan nilai yang terbesar antara  $V_{c\min}$  dan  $V_{ci}$ , maka  $V_c$  pakai adalah  $279410,95 \text{ N}$ .

Namun pada SNI 2847:2013 pasal 21.5.4.2, nilai  $V_c$  harus sama dengan 0 bilamana keduanya a dan b terjadi :

- a. Gaya geser yang ditimbulkan gempa yang dihitung mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum panjang tersebut

$$a = \left( \frac{A_s \cdot F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left( \frac{2454,37 \times 400}{0,85 \times 40 \times 450} \right)$$

$$a = 64,17 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr1} &= A_s \times f_y \times 1,25 \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 2454,37 \times 400 \times 1,25 \times \left( 577,5 - \frac{64,17}{2} \right) \\ &= 669327043 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$a = \left( \frac{A_s \cdot F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left( \frac{1472,62 \times 400}{0,85 \times 25 \times 300} \right)$$

$$a = 38,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr2} &= A_s \times f_y \times 1,25 \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1472,62 \times 400 \times 1,25 \times \left( 577,5 - \frac{38,5}{2} \right) \\ &= 411045525 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{\ln} + \frac{W_u \times \ln}{2} \\ &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{\ln} + V_u \\ &= \frac{669327043 + 411045525}{2950} + 172825,83 \\ &= 271135,32 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &: V_e > \frac{1}{2} V_u \\ 271135,32 \text{ N} &> \frac{1}{2} 176365,8 \text{ N} \\ 271135,32 \text{ N} &> 88182,9 \text{ N (OKE)} \end{aligned}$$

b. Gaya tekan aksial terfaktor,  $P_u$  termasuk pengaruh gempa kurang dari  $A_g f_c' / 20$ .

$$P_u \leq A_g f_c' / 20$$

$$1900000 \text{ N} \leq 450 \times 650 \times 40 / 20 \text{ N}$$

$$1900000 \text{ N} \leq 585000 \text{ N (OKE)}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= V_e/\phi - V_c \\
 &= 271135,32 / 0,75 - 0 \\
 &= 88577,3 \text{ N} > 0
 \end{aligned}$$

Maka tulangan geser direncanakan dengan tulangan geser minimum. Digunakan  $V_s$  perlu

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan dua kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned}
 A_v &= (0,25 \times \pi \times D^2) \times n_{\text{kaki}} \\
 &= (0,25 \times \pi \times 10^2) \times 2 \\
 &= 157,08 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Perhitungan penulangan geser dengan penambahan nilai torsi dihitung berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2 maka didapatkan hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_{yt} \times d} \\
 &= \frac{88577}{280 \times 577,5} \\
 &= 0,38 \text{ mm}^2 \\
 \frac{A_{vt}}{s} &= \frac{2 \times A_t}{s} + \frac{A_v}{s} \\
 &= 2 \times 0,292 + 0,38 \\
 &= 0,969 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (Sperlu)

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{A_v}{A_{vt}/s} \\
 &= \frac{157,08}{0,969} \\
 &= 162,09 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka : dipasang jarak 150 mm antar tulangan geser

Syarat :

$$A_v \geq (0,35 \cdot b_w \cdot s) / f_{yt}$$

$$157,08 \text{ mm}^2 \geq (0,35 \cdot 450 \cdot 150) / 280 \text{ mm}^2$$

$$157,08 \text{ mm}^2 \geq 84 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Cek Persyaratan SRPMK untuk Kekuatan Geser Balok

Senggang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi senggang tertutup tidak boleh melebihi yang terkecil dari a), b) dan c):

a)  $d/4$

b) Enam kali diameter tulangan longitudinal

c) 150 mm

(SNI 2847:2013 Pasal 21.5.3.2)

$$S_{\text{pakai}} \leq d/4$$

$$150 \text{ mm} < 144 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 6 \times \varnothing_{\text{tulangan longitudinal}}$$

$$150 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 150 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Jadi, penulangan geser balok untuk balok pratekan (daerah tumpuan) dipasang 2D10-150 mm

○ Perhitungan Tulangan Geser pada Daerah Lapangan

$$\begin{aligned} d_p &= e_{\text{lapangan}} + y_t \\ &= 214,8 \text{ mm} + 275,19 \text{ mm} \\ &= 490 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tetapi nilai  $d_p$  tidak boleh diambil kurang dari 0,8h

$$\begin{aligned} d_p \text{ min} &= 0,8 \times h \\ &= 0,8 \times 650 \text{ mm} \\ &= 520 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, nilai  $d_p$  diambil sebesar 520 mm

$$\begin{aligned} f_{pc} &= F_e / A_c \\ &= 1514538,6 \text{ N} / 358660,3 \text{ mm}^2 \\ &= 4,223 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_p &= F_e \times \frac{e_l - e_t}{\frac{L}{2}} \\
 &= 1514538,6 \times \frac{214,8 - 55}{\frac{12000}{2}} \\
 &= 40338,6 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Digunakan nilai  $\lambda = 1$

$$\begin{aligned}
 V_{cw} &= (0,29\lambda\sqrt{f_c} + 0,3f_{pc})b_w d_p + V_p \\
 &= (0,29 \times 1 \times \sqrt{40} + 0,3 \times 4,309)450 \times 520 + 40338,6 \\
 &= 780760,6 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{pe} &= \frac{F_e}{A_c} + \frac{F_e \times e_{\text{lapangan}}}{W_b} \\
 &= \frac{1514538,6}{358660,3} + \frac{1514538,6 \times 214,8}{38149230,8} \\
 &= 12,751 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_d &= M_d \text{ lapangan} / W_b \\
 &= 11534339,4 \text{ N.mm} / 38149230,8 \\
 &= 3,024 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{cre} &= \left( \frac{I}{y_t} \right) \times (0,5\lambda\sqrt{f_c} + f_{pe} - f_d) \\
 &= \left( \frac{14298544366}{275,19} \right) \times (0,5 \times 1 \times \sqrt{40} + 12,751 - 3,024) \\
 &= 669707129,9 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{ci} &= 0,05 \times \lambda \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d + V_d + \frac{V_l \times M_{cre}}{M_{\max}} \\
 &= 0,05 \times 1 \times \sqrt{40} \times 450 \times 520 + 56059,2 + \frac{176365,8 \times 669707129,9}{239557899,6} \\
 &= 504130,9 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Digunakan nilai yang paling minimum antara  $V_{cw}$  dan  $V_{ci}$ , maka digunakan nilai  $V_{ci} = 444159,4 \text{ N}$

$$\begin{aligned}
 V_{c_{\min}} &= 0,17 \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d \\
 &= 0,17 \times \sqrt{40} \times 450 \times 577,5 \\
 &= 279410,9 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Digunakan nilai yang terbesar antara  $V_{c_{\min}}$  dan  $V_{ci}$ , maka  $V_c$  pakai adalah 504130,9 N.

$$\begin{aligned}
 V_s &= (V_l / \phi) - V_c \\
 &= (176365,8 / 0,75) - 504130,9 \\
 &= -319926,6 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Maka tulangan geser direncanakan dengan tulangan geser minimum. Digunakan  $V_{s\min}$

$$\begin{aligned}
 V_{s\min} &= 1/3 \times b_w \times d \\
 &= 1/3 \times 450 \text{ mm} \times 577,5 \text{ mm} \\
 &= 86625 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan dua kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned}
 A_v &= (0,25 \times \pi \times D^2) \times n_{\text{kaki}} \\
 &= (0,25 \times \pi \times 10^2) \times 2 \\
 &= 157,08 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Perhitungan penulangan geser dengan penambahan nilai torsi dihitung berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2 maka didapatkan hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_{yt} \times d} \\
 &= \frac{86625}{280 \times 577,5} \\
 &= 0,38 \text{ mm}^2/\text{mm} \\
 \frac{A_{vt}}{s} &= \frac{2 \times A_t}{s} + \frac{A_v}{s} \\
 &= 2 \times 0,293 + 0,38 \\
 &= 0,961 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (Sperlu)

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{A_v}{A_{vt}/s} \\
 &= \frac{157,08}{0,961} \\
 &= 163,52 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka : dipasang jarak 150 mm antar tulangan geser

Syarat :

$$A_v \geq (0,35.bw.s)/f_{yt}$$

$$157,08 \text{ mm}^2 \geq (0,35.450.150)/280 \text{ mm}^2$$

$$157,08 \text{ mm}^2 \geq 84 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Cek Persyaratan SRPMK untuk Kekuatan Geser Balok

Spasi tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur tidak boleh melebihi  $d/2$  pada komponen struktur non-prategang dan  $0,75h$  pada komponen struktur prategang ataupun 600 mm

*(SNI 2847:2013 Pasal 11.4.5.1)*

Kontrol:

$$S_{\text{pakai}} < \frac{3}{4} h$$

$$125 \text{ mm} < \frac{387,5}{2} 450$$

$$125 \text{ mm} < 143,5 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} < 600 \text{ mm}$$

$$125 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Jadi, penulangan geser balok untuk balok pratekan (daerah tumpuan) dipasang 2Ø10-140 mm

#### 4.6.3.5. Kontrol Momen Nominal

Menurut SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.5, Baja prategang tidak boleh menyumbang lebih dari seperempat kekuatan lentur positif dan negatif di penampang kritis pada daerah sendi plastis dan harus diangkur pada atau melewati muka eksterior joint.

○ Data Perencanaan :

$$A_{ps} = 1501,5 \text{ mm}^2$$

$$t_p = 110 \text{ mm}$$

$$b_{\text{eff}} = 1051,5 \text{ mm}$$

$$f_{py}/f_{pu} = 0,9$$

$$\begin{aligned}
 \gamma_p &= 0,28 && \text{(SNI 2847:2013 pasal 18.7.2)} \\
 f_{se} &= 1008,68 \text{ MPa} \\
 f_{pu} &= 1838,2 \text{ MPa} \\
 f_{py} &= 0,9 f_{pu} \\
 &= 0,9 \times 1838,2 \text{ MPa} \\
 &= 1654,35 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 dp_{tumpuan} &= Yb + e_{tumpuan} < 0,8 \times h \\
 &= 374,81 + 80 < 0,8 \times 650 \\
 &= 454,81 \text{ mm} < 520 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

maka digunakan  $dp_{tumpuan}$  sebesar 520 mm

$$\begin{aligned}
 dp_{lapangan} &= Yt + e_{lapangan} < 0,8 \times h \\
 &= 275,19 + 214,8 < 0,8 \times 650 \\
 &= 490 \text{ mm} < 520 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

maka digunakan  $dp_{lapangan}$  sebesar 520 mm

$$\begin{aligned}
 \rho_p \text{ tumpuan} &= A_{ps} / (b \times dp) \\
 &= 1501,5 \text{ mm}^2 / (450 \text{ mm} \times 520 \text{ mm}) \\
 &= 0,00642
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_p \text{ lapangan} &= A_{ps} / (b_{eff} \times dp) \\
 &= 1501,5 \text{ mm}^2 / (1051,5 \text{ mm} \times 520 \text{ mm}) \\
 &= 0,00275
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L/h &= 12000 \text{ mm} / 650 \text{ mm} \\
 &= 18,46 < 35
 \end{aligned}$$

Rasio bentang/tinggi  $< 35$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 18.7.2(b) untuk komponen struktur dengan tendon tanpa lekatan dan dengan rasio bentang terhadap tinggi sebesar 35 atau kurang digunakan rumus :



Tumpuan :

$$\begin{aligned}
 f_{ps} &= f_{se} + 70 + \frac{f'_c}{100 \rho_p} \\
 &= 1008,68 + 70 + \frac{40}{100 \times 0,00642} \\
 &= 1141 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tetapi  $f_{ps}$  tidak boleh diambil lebih besar dari yang lebih kecil dari:

$$\begin{aligned}
 f_{py} &= 1654,35 \text{ MPa, dan} \\
 f_{se} + 420 &= 1008,68 \text{ MPa} + 420 \\
 &= 1428,68 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Maka digunakan  $f_{ps} = 1141 \text{ Mpa}$

Lapangan:

$$\begin{aligned}
 f_{ps} &= f_{se} + 70 + \frac{f'_c}{100 \rho_p} \\
 &= 1008,68 + 70 + \frac{40}{100 \times 0,00275} \\
 &= 1224,3 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tetapi  $f_{ps}$  tidak boleh diambil lebih besar dari yang lebih kecil dari:

$$\begin{aligned}
 f_{py} &= 1654,35 \text{ MPa, dan} \\
 f_{se} + 420 &= 1008,68 \text{ MPa} + 420 \\
 &= 1224,3 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Maka digunakan  $f_{ps} = 1224,3 \text{ MPa}$

Tumpuan :

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{A_{ps} f_{ps} + A_s f_y - A'_s f_y}{0,85 f'_c b} \\
 &= \frac{(1501,5 \times 1141) + (2454,37 \times 400) - (1472,62 \times 400)}{0,85 \times 40 \times 450} \\
 &= 138 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek :

$\alpha > t_p \rightarrow$  Balok T

$\alpha < t_p \rightarrow$  Balok Biasa

138 mm > 110 mm  $\rightarrow$  Balok T

Lapangan :

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{A_{ps}f_{ps} + A_s f_y - A'_s f_y}{0,85 f'_c b} \\ &= \frac{(1501,5 \times 1141) + (1963,5 \times 400) - (981,75 \times 400)}{0,85 \times 40 \times 450} \\ &= 138 \text{ mm}\end{aligned}$$

Cek :

$\alpha > t_p \rightarrow$  Balok T

$\alpha < t_p \rightarrow$  Balok Biasa

148 mm > 110 mm  $\rightarrow$  Balok T

○ Momen Nominal Tumpuan :

$$\begin{aligned}Apw.fps &= Aps.fps + As_{pakai}.f_y - (0,85.f_c' (b_{eff} - b)tp) \\ &= 1501,5 \times 1141 + 2454,37 \times 400 - (0,85.40 \\ &\quad (1051,5 - 450) \times 110) \\ &= 445540 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a &= Apw.fps / (0,85 \times f'_c \times b_w) \\ &= 445540 / (0,85 \times 40 \times 450) \\ &= 29,12 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= As_{pakai} / (b_w.d) \\ &= 2454,37 / (450 \times 577,5) \\ &= 0,0094\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho' &= As'_{pakai} / (b_w.d) \\ &= 1472,62 / (450 \times 577,5) \\ &= 0,0057\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\omega_w &= \rho.f_y / f'_c \\ &= 0,0094 \times 400 / 40 \\ &= 0,094\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \omega'_w &= \rho' \cdot f_y / f_c \\
 &= 0,0057 \times 400 / 40 \\
 &= 0,057 \\
 \omega_{pw} &= \rho \cdot f_{ps} \times f_{ps}' / f_c' \\
 &= 0,00642 \times 1141 / 40 \\
 &= 0,183
 \end{aligned}$$

Cek Rasio Tulangan

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0,754 \\
 0,36 \beta_1 &= 0,27 \\
 \text{Rasio} &= \omega_{pw} + \frac{d}{d_p} \times (\omega_w - \omega'_w) \\
 &= 0,183 + \frac{577,5}{520} \times (0,094 - 0,057) \\
 &= 0,22
 \end{aligned}$$

Cek :

$$\text{Rasio} < 0,28$$

$$0,22 < 0,27 \rightarrow \text{Tulangan Normal}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_{pw} \cdot f_{ps}(d_p - \frac{1}{2} a) + A_{spakai} \cdot f_y \times (d - d_p) + \\
 &\quad 0,85 f_c' \cdot (b_{eff} - b) \times t_p(d_p - \frac{1}{2} t_p) \\
 &= 445540,89 (520 - \frac{1}{2} \cdot 31,13) + 2545,37 \times \\
 &\quad (577,5 - 520) + 0,85 \cdot 40 \cdot (1051,5 - 450) \times \\
 &\quad 110(520 - \frac{1}{2} \cdot 110) \\
 &= 1327639038 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{np} &= A_{pw} \cdot f_{ps}(d_p - \frac{1}{2} a) \\
 &= 445540,89 \cdot (520 - \frac{29,12}{2}) \\
 &= 225194116,2 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek :

$$\Phi M_n \geq M_u \text{ max tumpuan}$$

$$0,9 \times 1327639038 \text{ Nmm} \geq 336574264 \text{ Nmm}$$

$$1194875134 \text{ Nmm} \geq 336574264 \text{ Nmm (memenuhi)}$$

○ Momen Nominal Lapangan :

$$\begin{aligned} \text{Apw.fps} &= \text{Aps.fps} + \text{As}_{\text{pakai}} \cdot f_y - (0,85 \cdot f_c' (b_{\text{eff}} - b) t_p) \\ &= 1501,5 \times 1224,3 + 1963,5 \times 400 - (0,85 \cdot 40 \\ &\quad (1051,5 - 450) \times 110) \\ &= 374294,47 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \text{Apw.fps} / (0,85 \times f_c' \times b_w) \\ &= 374294,47 / (0,85 \times 40 \times 450) \\ &= 24,179 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \text{As}_{\text{pakai}} / (b_w \cdot d) \\ &= 1963,5 / (450 \times 577,5) \\ &= 0,0076 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho' &= \text{As}'_{\text{pakai}} / (b_w \cdot d) \\ &= 981,75 / (450 \times 577,5) \\ &= 0,0038 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega_w &= \rho \cdot f_y / f_c' \\ &= 0,0075 \times 400 / 40 \\ &= 0,076 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega'_w &= \rho' \cdot f_y / f_c' \\ &= 0,0038 \times 400 / 40 \\ &= 0,038 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega_{pw} &= \rho \cdot p_s \times f_{ps} / f_c' \\ &= 0,00275 \times 1224,34 / 40 \\ &= 0,084 \end{aligned}$$

Cek Rasio Tulangan

$$\beta_1 = 0,754$$

$$0,36 \beta_1 = 0,27$$

$$\begin{aligned} \text{Rasio} &= \omega_{pw} + \frac{d}{d_p} \times (\omega_w - \omega'_w) \\ &= 0,084 + \frac{577,5}{520} \times (0,076 - 0,038) \\ &= 0,126 \end{aligned}$$

Cek :

$$\text{Rasio} < 0,28$$

$$0,126 < 0,28 \rightarrow \text{Tulangan Normal}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_{pw}.f_{ps}(d_p - \frac{1}{2} a) + A_{Spakai}.f_y \times (d - d_p) + \\
 &\quad 0,85f'_c \cdot (b_{eff} - b) \times t_p(d_p - \frac{1}{2} t_p) \\
 &= 1501,5.1224,34(520 - \frac{1}{2}.26,17) + 1963,495 \times \\
 &\quad 400 \times (520 - \frac{1}{2}.26,17) + 0,85.40(1051,5- \\
 &\quad 450) \times 110(520-110) \\
 &= 1281262873 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{np} &= A_{ps}.f_{ps}(d_p - \frac{1}{2} a) \\
 &= 1501,5.1224,3 (520 - \frac{1}{2}.24,179) \\
 &= 933715377,1 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek :

$$\Phi M_n \geq M_u \text{ max lapangan}$$

$$0,9 \times 1281262873 \text{ Nmm} \geq 239557900 \text{ Nmm}$$

$$1153136585 \text{ Nmm} \geq 239557900 \text{ Nmm (memenuhi)}$$

#### 4.6.3.6. Kontrol Momen Retak

Perhitungan kuat ultimate dari beton pratekan harus memenuhi persyaratan SNI 2847:2013 pasal 18.8.2 mengenai jumlah total baja tulangan non pratekan dan pratekan harus cukup untuk menghasilkan beban terfaktor paling sedikit 1.2 beban retak yang terjadi berdasarkan nilai modulus retak sebesar  $0,62 \lambda \sqrt{f'_c}$  sehingga didapatkan  $\phi M_u > 1.2 M_{cr}$ , dengan nilai  $\phi = 0.9$ . Nilai momen retak dapat dihitung sebagai berikut:

$$f_r = 0,62 \sqrt{f'_c} = 0,62 \sqrt{40} = 3,92 \text{ MPa}$$

$$F = 1545292,1 \text{ N}$$

$$e = 214,8 \text{ mm}$$

$$W_b = 38149230,8 \text{ mm}^3$$

$$K_t = 106,4 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= F_e \times K_t + F_e \times e + f_r \times W_b \\
 &= 1514538,57 \times 106,4 + 1514538,57 \times 214,8 + 3,92 \times \\
 &\quad 38149230,8 \\
 &= 636018295,8 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek :

$$\Phi M_n > 1,2 M_{cr}$$

$$0,9 \times 1281262873 \text{ Nmm} \geq 1,2 \times 636018295,8 \text{ Nmm}$$

$$1153136585 \text{ Nmm} \geq 763221955 \text{ Nmm} \text{ (memenuhi)}$$

#### 4.6.3.7. Prestress Partial Ratio (PPR)

Sifat lentur balok beton prategang parsial sangat tergantung pada besarnya Partial Prestressing Ratio (PPR). PPR adalah rasio momen batas akibat strand prategang terhadap momen batas total penampang.

- Tumpuan :

$$\text{PPR} = M_{np}/M_n$$

$$= 225194116,2 / 1327639038$$

$$= 17\%$$

Cek :

$$\text{PPR} < 25\%$$

$$17\% < 25\% \quad (\text{OKE})$$

- Lapangan :

$$\text{PPR} = M_{np}/M_n$$

$$= 933715377,1 / 1281262873$$

$$= 72,9\%$$

#### 4.6.3.8. Pengangkuran Ujung

Balok pratekan pasca tarik, kegagalan bisa disebabkan oleh hancurnya bantalan beton pada daerah tepat dibelakang angkur tendon akibat tekanan yang sangat besar. Kegagalan ini diperhitungkan pada kondisi ekstrim saat transfer, yaitu saat gaya pratekan maksimum dan kekuatan beton minimum. Kuat tekan nominal beton pada daerah pengangkuran global di isyaratkan oleh SNI 2847:2013 pasal 18.13.4.2. Bila diperlukan, pada daerah pengangkuran dapat dipasang tulangan untuk memikul gaya pencar, pengelupasan dan gaya tarik tepi longitudinal yang timbul akibat pengangkuran tendon sesuai pasal 18.13.3.2

Dalam studi ini digunakan angkur hidup. Hal ini dikarenakan metode pemberian gaya pratekan dengan sistem pasca tarik. Penulangan pengekanan di seluruh pengangkuran harus sedemikian rupa hingga mencegah pembelahan dan bursting yang merupakan hasil dari gaya tekan terpusat besar yang disalurkan melalui alat angkur. Metode perhitungan perencanaan daerah pengangkuran global sesuai dengan SNI 2847:2013Ps.18.13.3.2 mensyaratkan untuk mengalihkan gaya tendon dengan faktor beban sebesar 1,2.

Dari hasil perhitungan sebelumnya diperoleh gaya pratekan awal adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} F_o &= 1900000 \text{ N} \\ P_u &= 1,2 F_o \\ &= 1,2 \times 1900000 \text{ N} \\ &= 2280000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$T_{\text{pencar}} = 0,25 \sum P_u \left(1 - \frac{a}{h}\right)$$

$$d_{\text{pencar}} = 0,5 (h - 2e)$$

dimana :

$\sum P_u$  = jumlah gaya tendo terfaktor total untuk pengaturan penarikan tendon yang ditinjau

a = tinggi angkur atau kelompok angkur yang berdekatan pada arah yang ditinjau

e = eksentrisitas angkur atau kelompok angkur yang berdekatan terhadap sumbu berat penampang

h = tinggi penampang pada arah yang ditinjau

Diperoleh nilai sebagai berikut :

a = 265 mm (ankur dengan strand 5-19, VSL tabel)

e = 110 mm

h = 650 mm

Sehingga diperoleh hasil sebagai berikut :

$$\begin{aligned} T_{\text{pencar}} &= 0,25 \times 2280000 \left(1 - \frac{265}{650}\right) \\ &= 337615,38 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_{\text{pencar}} &= 0,5 (h - 2e) \\
 &= 0,5 (650 - 2 \times 55) \\
 &= 270 \text{ mm} \\
 A_{vp} &= T_{\text{pencar}} / f_y \\
 &= 337615,38 \text{ N} / 400 \text{ MPa} \\
 &= 1406,7 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan sengkang 2 kaki berdiameter 14 mm ( $A_v = 307,876 \text{ mm}^2$ ), maka kebutuhan tulangan sengkang ialah sebanyak :

$$\begin{aligned}
 n &= A_{vp} / A_v \\
 &= 1406,7 \text{ mm}^2 / 307,876 \text{ mm}^2 \\
 &= 4,57 \text{ buah} \approx 5 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Spasi antar sengkang ialah sebesar :

$$\begin{aligned}
 s &= d_{\text{pencar}} / n \\
 &= 270 \text{ mm} / 5 \text{ buah} \\
 &= 54 \text{ mm} \approx 50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Sehingga digunakan tulangan sengkang 2 kaki berdiameter 14 mm dengan jarak antar tulangan sebesar 50 mm

#### 4.6.3.9. Perhitungan Panjang Penyaluran

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12, sebagai berikut :

- Penyaluran Kait Standar Kondisi Tarik  
Panjang penyaluran kait standar kondisi tarik dihitung berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.5.2, sebagai berikut :



$$ldh = \frac{\left( \frac{0,24 \psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) db}{\left( \frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \sqrt{40}} \right) 25}$$

$$ldh = 379,5 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}$$

Syarat :

$$ldh > 8db \quad \text{atau} \quad ldh > 150 \text{ mm}$$

$$400 > 152 \text{ mm} \quad \text{atau} \quad 400 > 150 \text{ mm}$$

→memenuhi

Panjang kait

$$12db = 12 (25) = 300 \text{ mm}$$

❖ Maka dipakai kait ldh sepanjang 400mm dengan tambahan kait 90° sepanjang 350 mm

○ Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tarik

Sesuai dengan SNI 3847:2013 pasal 12.2.1 bahwa untuk batang tulangan atau kawat ulir dengan D-22 atau lebih kecil, ld harus dihitung dengan rumus dibawah ini :

$$ld = \left[ \frac{f_y \Psi_t \psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f'_c}} \right] db$$

$$ld = \left[ \frac{400 \times 1 \times 1,5}{1,7 \times 1 \sqrt{40}} \right] 25$$

$$ld = 379,5 \text{ mm}$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih):

$$ld \text{ reduksi} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} ld$$

$$= \frac{2294,9}{2454,4} 379,5$$

$$= 355 \text{ mm}$$

Direncanakan

$$l_d = 400 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_d = 400 \text{ mm} > l_d \text{ reduksi}$$

$$l_d = 400 \text{ mm} > 355 \text{ mm} \rightarrow (\text{memenuhi})$$

$$l_d = 400 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$$

$$l_d = 400 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \rightarrow (\text{memenuhi})$$

❖ Maka panjang penyaluran dalam kondisi tarik 400 mm

○ Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tekan

Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.3.2, sebagai berikut :

Perhitungan :

$$l_{dc} = \left( \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b \quad \text{atau } l_{dc} = (0,043 \times f_y) d_b$$

$$l_{dc} = \left( \frac{0,24 \times 400}{1 \times \sqrt{40}} \right) 25 \quad \text{atau } l_{dc} = (0,043 \times 400) 25$$

$$l_{dc} = 379,5 \text{ mm} \quad \text{atau } l_{dc} = 430 \text{ mm}$$

$l_{dc}$  perlu dipilih dengan nilai terbesar, maka digunakan  $l_{dc} \text{ perlu} = 430 \text{ mm}$

○ Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih):

$$\begin{aligned} l_{dc} \text{ reduksi} &= \frac{A_s' \text{ perlu}}{A_s' \text{ pasang}} l_d \\ &= \frac{1227}{1427,6} 430 \\ &= 358,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

Direncanakan

$$l_d = 400 \text{ mm}$$

Syarat :

$$l_{dc} = 400 \text{ mm} > l_{dc} \text{ reduksi}$$

$$l_{dc} = 400 \text{ mm} > 358,33 \text{ mm} \rightarrow (\text{memenuhi})$$

$$l_{dc} = 400 \text{ mm} > 200 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 400 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \rightarrow (\text{memenuhi})$$

○ Penyaluran Tulangan Momen Negatif

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.12.3. Paling sedikit sepertiga tulangan tarik total yang dipasang untuk momen negatif pada tumpuan harus mempunyai panjang penanaman melewati titik belok tidak kurang dari  $d$ ,  $12d_b$ , dan  $l_n/16$ , yang mana yang lebih besar.

Dimana :

$$d = 577,5 \text{ mm}$$

$$12d_b = 12 \cdot 25 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$$

$$l_n/16 = (12000 \text{ mm} - 600 \text{ mm})/16 = 712,5 \text{ mm}$$

Hasil perhitungan yang lebih besar adalah 712,5 mm, maka digunakan penyaluran momen negative = 750 mm

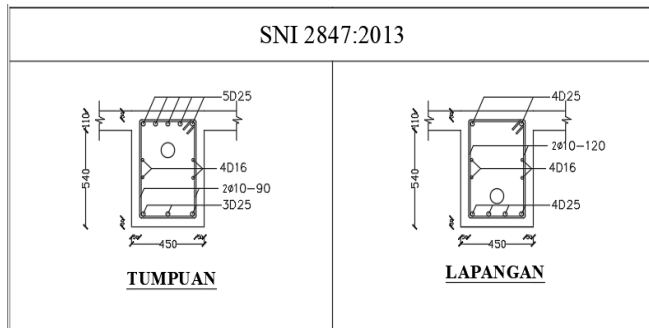
○ Kait Standar untuk Sengkang

Untuk tulangan D25 dan yang lebih kecil, bengkokan 135 derajat ditambah perpanjangan  $6d_b$  pada ujung bebas batang tulangan.

$$6d_b = 6 \cdot 14 \text{ mm}$$

$$= 84 \text{ mm} \geq 75 \text{ mm}$$

Digunakan panjang kait 85 mm



Gambar 4. 25 Detail Penulangan Balok Prategang

#### 4.7. Studi Perbandingan Menggunakan SNI 03-2847-2002 dan ACI 318M-14

##### 4.7.1. Perhitungan Tulangan Lentur Prategang Menggunakan SNI 03-2847-2002

- Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left( \frac{600}{600 + F_y} \right) \times d \\ &= \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \times 577,5 \\ &= 346,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 346,5 \\ &= 259,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 72,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

- $\beta_1 = 0.85 - \frac{0.05(f_c - 30)}{7}$   
 $= 0.85 - \frac{0.05(40 - 30)}{7}$   
 $= 0,779$
- Komponen beton tertekan  
 $Cc' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{rencana}$   
 $Cc' = 0,85 \times 40 \times 450 \times 0,779 \times 150$   
 $Cc' = 1786821 \text{ N}$
- Luas tulangan Tarik  
 $A_{sc} = \frac{Cc'}{F_y}$   
 $= \frac{1786821}{400}$   
 $= 4467 \text{ mm}^2$
- Momen nominal tulangan lentur tunggal  
 $M_{nc} = A_{sc} \times F_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right)$   
 $= 4467 \times 400 \times \left( 577,5 - \frac{0,779 \times 200}{2} \right)$   
 $= 927551767 \text{ Nmm}$
- a. Daerah Tumpuan  
Momen tumpuan = 336574264 Nmm
  - Momen lentur nominal (Mn)  
 $M_{u_{tumpuan}} = 336574264 \text{ Nmm}$   
 $M_n = \frac{M_{ux}}{\phi}$   
 $= \frac{336574264}{0,8}$   
 $= 420717830 \text{ Nmm}$
  - Cek momen nominal tulangan lentur rangkap  
Syarat :  
 $M_{ns} > 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 420717830 - 927551767 \\ &= -506833937 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$$M_{ns} = -506833937 < 0$$

$\rightarrow$  (Tidak memerlukan tulangan lentur tekan)

- ❖ Jadi analisis berikutnya untuk perhitungan balok digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

#### Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 40} = 11,76$$

Menurut **SNI 03-2847-2002 pasal 12.3.2.1**, syarat

$\rho_{min}$ :

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{F_y} = \frac{0,25 \sqrt{40}}{400} = 0,00395$$

yang menentukan  $\rho_{min} = 0,0035$

$\rho_{max} = 0,025$  (**03-2847-2002 pasal 23.3.2.1**)

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{336574264}{0,8 \times 300 \times 577,5^2} = 2,803 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right] \\ &= \frac{1}{11,76} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,76 \times 2,803}{400}} \right] \\ &= 0,00732 \end{aligned}$$

Kontrol Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0031 < 0,00732 < 0,025 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- Luasan perlu (As perlu) tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,00732 \times 450 \times 577,5 \\ &= 1903 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luasan tulangan puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur tarik

$$\frac{A_l}{4} = 391,57 \text{ mm}^2$$

- Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= A_s \text{ perlu tul. Lentur tarik} + A_s \\ &\quad \text{tul. Puntir untuk tul. lentur tarik} \\ &= 1903 \text{ mm}^2 + 391,57 \text{ mm}^2 \\ &= 2294,9 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_{s \text{ Dlentur}}} \\ &= \frac{2294,9}{\frac{1}{4} \pi 25^2} \\ &= 4,675 \approx 5 \text{ buah} \end{aligned}$$

- Luasan tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\ &= 2454,37 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol Syarat:

$$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$$

$$2454,37 \text{ mm}^2 > 2294,9 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- Luasan pasang ( $A_s'$ ) tulangan lentur tekan  
 $A_s'$  perlu = Luasan tulangan lentur tarik + luasan  
 tambahan torsi longitudinal sisi atas  
 balok

$$= A_s + \frac{A_t}{4}$$

$$= 0 + 391,57 = 391,57 \text{ mm}^2$$

- Jumlah tulangan lentur tekan  
 $A_s$  perlu

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_{s \text{ Dlentur}}}$$

$$= \frac{391,57}{\frac{1}{4} \pi 25^2}$$

$$= 0,80 \approx 3 \text{ buah}$$

- Luasan tulangan lentur tekan  
 $A_s$  pasang =  $n$  pasang  $\times$  luasan D lentur  
 $= 3 \times 0,25 \pi \times 25^2$   
 $= 1472,62 \text{ mm}^2$

Kontrol Syarat:

$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$

$1472,62 \text{ mm}^2 > 391,57 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$

- Kontrol jarak spasi tulangan pakai  
 Direncanakan :

✓ Tulangan tarik = 1 lapis (5D25)

✓ Tulangan tekan = 1 lapis (3D25)

Kontrol tulangan tarik 1 lapis

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$= \frac{300 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (5 \times 25)}{5 - 1}$$

$$= 51,25 \text{ mm}$$



$S_{maks} \geq S_{\text{syarat agregat}}$   
 $51,25 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \rightarrow (\text{Memenuhi})$

Kontrol tulangan tekan 1 lapis

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n-1}$$

$$= \frac{300 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (3 \times 25)}{3-1}$$

$$= 127,5 \text{ mm}$$

$S_{maks} \geq S_{\text{syarat agregat}}$   
 $127,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \rightarrow (\text{Memenuhi})$

- Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik terpenuhi ( $S_{\max} \geq 25 \text{ mm}$ ), maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis
- o Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint tersebut. Baik kekuatan momen negatif pada sebarang penampang sepanjang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint tersebut.

$$M_{\text{lentur tumpuan}(+) \geq 1/2 M_{\text{lentur tumpuan}(-)}$$

**(SNI 03-2847-2002, Pasal 23.3.2.2)**

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \pi \times 25^2 \\ &= 2454,37 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \pi \times 25^2 \\ &= 1472,62 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{\text{lentur tumpuan}(+) \geq 1/2 M_{\text{lentur tumpuan}(-)}$$

$$1472,62 \text{ mm}^2 \geq 1/2 \times 2454,37 \text{ mm}^2$$

$$1472,62 \text{ mm}^2 \geq 1227,18 \text{ mm}^2 (\text{Memenuhi})$$

○ Kontrol Kemampuan Penampang

Tinggi balok tegangan persegi ekivalen

$$\alpha = \frac{A_{s\text{ pakai}} \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{2454,37 \times 400}{0,85 \times 40 \times 450} = 64,17 \text{ mm}$$

Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{\alpha}{\beta_1} = \frac{64,17}{0,779} = 82,42 \text{ mm}$$

$$0,375 \text{ dt} = 0,375 \times 577,5 = 216,563 \text{ mm}$$

Syarat :

$$c \leq 0,375 \text{ dt} \rightarrow \text{kondisi terkontrol Tarik}$$

$$82,42 \text{ mm} \leq 216,563 \text{ mm} \text{ (asumsi benar, } \phi = 0,9\text{)}$$

○ Kontrol Regangan

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{577,5 - 82,42}{82,42} \times 0,003 \\ &= 0,018 > 0,005 \end{aligned}$$

Jadi, balok prategang termasuk pada penampang terkendali tarik dengan faktor reduksi  $\phi = 0,9$ .

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \times F_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 2454,37 \times 400 \times \left( 577,5 - \frac{64,2}{2} \right) \\ &= 540186283,8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka:

$M_n \text{ pasang} > M_n \text{ perlu}$

$$540186283,8 \text{ Nmm} > 420717830 \text{ Nmm} \quad (\text{OKE})$$

❖ Maka pada balok prategang untuk daerah tumpuan:

✓ Tulangan lentur tarik susun 1 lapis

Lapis 1 = 5D25

✓ Tulangan lentur tekan susun 1 lapis

Lapis 1 = 3D25

## b. Daerah Lapangan

Momen lapangan = 239557900 Nmm

- Momen lentur nominal ( $M_n$ )

$$M_{u\text{lapangan}} = 239557900 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_{ux}}{\phi} \\ &= \frac{239557900}{0,8} \\ &= 299447374,5 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

 $M_{ns} > 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan $M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 299447374,5 - 927551767 \\ &= -628104392,1 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$$M_{ns} = -628104392,1 < 0$$

 $\rightarrow$  (Tidak memerlukan tulangan lentur tekan)

- ❖ Jadi analisis berikutnya untuk perhitungan balok digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 40} = 11,76$$

Menurut *SNI 03-2847-2002 pasal 12.3.2.1*, syarat $\rho_{\min}$  :

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{F_y} = \frac{0,25 \sqrt{40}}{400} = 0,00395$$

yang menentukan  $\rho_{min} = 0,0035$

$\rho_{max} = 0,025$  (03-2847-2002 pasal 23.3.2.1)

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{239557900}{300 \times 577,5^2} = 2,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right] \\ &= \frac{1}{11,76} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,76 \times 2,00}{400}} \right] \\ &= 0,0051 \end{aligned}$$

Kontrol Syarat:

$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$0,0031 < 0,0051 < 0,025 \rightarrow (\text{Memenuhi})$

- Luasan perlu (As perlu) tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0051 \times 450 \times 577,5 \\ &= 1336,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luasan tulangan puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur tarik

$$\frac{A_l}{4} = 391,57 \text{ mm}^2$$

- Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= A_s \text{ perlu tul. Lentur tarik} + A_s \text{ tul. Puntir untuk tul. lentur tarik} \\ &= 1336,8 \text{ mm}^2 + 391,57 \text{ mm}^2 \\ &= 1728,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D \text{ lentur}} \\
 &= \frac{1728,3}{\frac{1}{4}\pi 25^2} \\
 &= 3,52 \approx 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

- Luasan tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned}
 As \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} D \text{ lentur} \\
 &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\
 &= 1963,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol Syarat:

$As \text{ pasang} > As \text{ perlu}$

$$1963,5 \text{ mm}^2 > 1728,3 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- Luasan pasang ( $As'$ ) tulangan lentur tekan

$As' \text{ perlu} = \text{Luasan tulangan lentur tarik} + \text{luas}$   
 tambahan torsi longitudinal sisi atas  
 balok

$$\begin{aligned}
 &= As + \frac{At}{4} \\
 &= 0 + 391,57 = 391,57 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D \text{ lentur}} \\
 &= \frac{391,57}{\frac{1}{4}\pi 25^2} \\
 &= 0,80 \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

- Luasan tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 As \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} D \text{ lentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\
 &= 981,75 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol Syarat:

As pasang > As perlu

$981,75 \text{ mm}^2 > 391,57 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$

- Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Direncanakan :

✓ Tulangan tarik = 1 lapis (4D25)

✓ Tulangan tekan = 1 lapis (2D25)

Kontrol tulangan tarik 1 lapis

$$\begin{aligned} S_{\max} &= \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n-1} \\ &= \frac{300 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (4 \times 25)}{4-1} \\ &= 76,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S_{\max} \geq S \text{ syarat agregat}$

$76,67 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \rightarrow (\text{Memenuhi})$

Kontrol tulangan tekan 1 lapis

$$\begin{aligned} S_{\max} &= \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n-1} \\ &= \frac{300 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (2 \times 25)}{2-1} \\ &= 280 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S_{\max} \geq S \text{ syarat agregat}$

$280 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \rightarrow (\text{Memenuhi})$

- Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik terpenuhi ( $S_{\max} \geq 25 \text{ mm}$ ) , maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis

- Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen

negative yang disediakan pada muka joint tersebut. Baik kekuatan momen negatif pada sebarang penampang sepanjang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint tersebut.

$$M \text{ lentur lapangan}(+) \geq 1/4 \times M \text{ lentur tumpuan}(-)$$

*(SNI 2847:2013, Pasal 21.5.2.2)*

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\ &= 2454,37 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\ &= 981,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ lentur lapangan}(+) &\geq 1/4 M \text{ lentur tumpuan}(-) \\ 981,75 \text{ mm}^2 &\geq 1/4 \times 2454,37 \text{ mm}^2 \\ 981,75 \text{ mm}^2 &\geq 613,59 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)} \end{aligned}$$

#### o Kontrol Kemampuan Penampang

Tinggi balok tegangan persegi ekuivalen

$$\alpha = \frac{A_{spakai} \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{1963,5 \times 400}{0,85 \times 40 \times 450} = 51,33 \text{ mm}$$

Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{\alpha}{\beta_1} = \frac{51,33}{0,754} = 65,9 \text{ mm}$$

$$0,375 dt = 0,375 \times 577,5 = 216,563 \text{ mm}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} c &\leq 0,375 dt \rightarrow \text{kondisi terkontrol Tarik} \\ 65,9 \text{ mm} &\leq 216,563 \text{ mm} \text{ (asumsi benar, } \phi = 0,9) \end{aligned}$$

○ Kontrol Regangan

$$\begin{aligned}\varepsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{577,5 - 65,9}{65,9} \times 0,003 \\ &= 0,023 > 0,005\end{aligned}$$

Jadi, balok prategang termasuk pada penampang terkendali tarik dengan faktor reduksi  $\phi = 0,9$ .

$$\begin{aligned}M_n \text{ pasang} &= A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 2454,37 \times 400 \times \left(577,5 - \frac{51,3}{2}\right) \\ &= 436432709,5 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Maka:

$M_n \text{ pasang} > M_n \text{ perlu}$

$436432709,5 \text{ Nmm} > 299447374,5 \text{ Nmm}$  (OKE)

❖ Maka pada balok prategang untuk daerah tumpuan:

✓ Tulangan lentur tarik susun 1 lapis

Lapis 1 = 4D25

✓ Tulangan lentur tekan susun 1 lapis

Lapis 1 = 2D25

#### 4.7.2. Momen Nominal Prategang Menggunakan SNI 03-2847-2002

○ Data Perencanaan :

$$\begin{aligned}A_{ps} &= 1501,5 \text{ mm}^2 \\ t_p &= 110 \text{ mm} \\ b_{eff} &= 1051,5 \text{ mm} \\ f_{py}/f_{pu} &= 0,9 \\ \gamma_p &= 0,28 \\ f_{se} &= 1008,68 \text{ MPa} \\ f_{pu} &= 1838,16 \text{ MPa} \\ f_{py} &= 0,9 f_{pu}\end{aligned}$$



$$= 0,9 \times 1838,2 \text{ MPa}$$

$$= 1654,35 \text{ Mpa}$$

$$dp_{\text{tumpuan}} = Yb + e_{\text{tumpuan}} < 0,8 \times h$$

$$= 374,81 + 80 < 0,8 \times 650$$

$$= 454,81 \text{ mm} < 520 \text{ mm}$$

maka digunakan  $dp_{\text{tumpuan}}$  sebesar 520 mm

$$dp_{\text{lapangan}} = Yt + e_{\text{lapangan}} < 0,8 \times h$$

$$= 275,19 + 214,8 < 0,8 \times 650$$

$$= 490 \text{ mm} < 520 \text{ mm}$$

maka digunakan  $dp_{\text{lapangan}}$  sebesar 520 mm

$$\rho_{p \text{ tumpuan}} = A_{ps} / (b \times dp)$$

$$= 1501,5 \text{ mm}^2 / (450 \text{ mm} \times 520 \text{ mm})$$

$$= 0,00642$$

$$\rho_{p \text{ lapangan}} = A_{ps} / (b_{\text{eff}} \times dp)$$

$$= 1501,5 \text{ mm}^2 / (1051,5 \text{ mm} \times 520 \text{ mm})$$

$$= 0,00275$$

$$L/h = 12000 \text{ mm} / 650 \text{ mm}$$

$$= 18,46 < 35$$

Rasio bentang/tinggi < 35

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 20.7.2.b) untuk komponen struktur dengan tendon tanpa lekatan dan dengan rasio bentang terhadap tinggi sebesar 35 atau kurang menggunakan rumus :

Tumpuan :

$$f_{ps} = f_{se} + 70 + \frac{f_c}{100 \rho_p}$$

$$= 1029,17 + 70 + \frac{40}{100 \times 0,00642}$$

$$= 1141,02 \text{ MPa}$$

Tetapi  $f_{ps}$  tidak boleh diambil lebih besar dari yang lebih kecil dari:

$$\begin{aligned} f_{py} &= 1654,35 \text{ MPa, dan} \\ f_{se} + 400 &= 1008,68 \text{ MPa} + 400 \\ &= 1408,68 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Maka digunakan  $f_{ps} = 1141,02 \text{ MPa}$

#### Lapangan:

$$\begin{aligned} f_{ps} &= f_{se} + 70 + \frac{f'_c}{100 \rho_p} \\ &= 1008,68 + 70 + \frac{40}{100 \times 0,00275} \\ &= 1224,34 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tetapi  $f_{ps}$  tidak boleh diambil lebih besar dari yang lebih kecil dari:

$$\begin{aligned} f_{py} &= 1654,35 \text{ MPa, dan} \\ f_{se} + 400 &= 1008,68 \text{ MPa} + 400 \\ &= 1408,68 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Maka digunakan  $f_{ps} = 1224,34 \text{ Mpa}$

#### Tumpuan :

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{A_{ps} f_{ps} + A_s f_y - A'_s f_y}{0,85 f'_c b} \\ &= \frac{(1501,5 \times 1141,02) + (2454,37 \times 400) - (1472,62 \times 400)}{0,85 \times 40 \times 450} \\ &= 138 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek :

$\alpha > t_p \rightarrow \text{Balok T}$

$\alpha < t_p \rightarrow \text{Balok Biasa}$

$140 \text{ mm} > 110 \text{ mm} \rightarrow \text{Balok T}$

Lapangan :

$$\alpha = \frac{A_{ps} f_{ps} + A_s f_y - A'_s f_y}{0,85 f_c b}$$

$$= \frac{(1501,5 \times 1224,34) + (1963,5 \times 400) - (981,75 \times 400)}{0,85 \times 40 \times 450}$$

$$= 146 \text{ mm}$$

Cek :

 $\alpha > t_p \rightarrow$  Balok T $\alpha < t_p \rightarrow$  Balok Biasa146 mm > 110 mm  $\rightarrow$  Balok T

## ○ Momen Nominal Tumpuan :

$$\begin{aligned} \text{Apw.fps} &= \text{Aps.fps} + \text{As}_{\text{pakai}} \cdot f_y - (0,85 \cdot f_c' (b_{\text{eff}} - b) t_p) \\ &= 1501,5 \times 1141,02 + 2454,37 \times 400 - \\ &\quad (0,85 \cdot 40 (1051,5 - 450) \times 110) \\ &= 445540,9 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha &= \text{Apw.fps} / (0,85 \times f_c' \times b_w) \\ &= 445540,9 / (0,85 \times 40 \times 450) \\ &= 29,12 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \text{As}_{\text{pakai}} / (b_w \cdot d) \\ &= 2454,37 / (450 \times 577,5) \\ &= 0,0094 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho' &= \text{As}'_{\text{pakai}} / (b_w \cdot d) \\ &= 1472,62 / (450 \times 577,5) \\ &= 0,0057 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega &= \rho \cdot f_y / f_c \\ &= 0,0094 \times 400 / 40 \\ &= 0,094 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega' &= \rho' \cdot f_y / f_c \\ &= 0,0057 \times 400 / 40 \\ &= 0,057 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega_p &= \rho \cdot f_{ps} / f_c' \\ &= 0,00642 \times 1141,02 / 40 \\ &= 0,183 \end{aligned}$$

Cek Rasio Tulangan

$$\beta_1 = 0,779$$

$$0,36 \beta_1 = 0,28$$

$$\begin{aligned}\text{Rasio} &= \omega_{pw} + \frac{d}{d_p} \times (\omega_w - \omega'_w) \\ &= 0,183 + \frac{577,5}{520} \times (0,094 - 0,057) \\ &= 0,22\end{aligned}$$

Cek :

$$\text{Rasio} < 0,28$$

$$0,22 < 0,28 \rightarrow \text{Tulangan Normal}$$

$$\begin{aligned}\text{Mn} &= \text{Apw.fps}(d_p - \frac{1}{2} a) + \text{As}_{\text{pakai}}.f_y \times (d - d_p) + \\ &\quad 0,85f_c'.(b_{\text{eff}} - b) \times t_p(d_p - \frac{1}{2} t_p) \\ &= 445540,9 (520 - \frac{1}{2}.29,12) + 2545,37 \times 400 \\ &\quad (577,5 - 520) + 0,85.40.(1051,5 - 450) \times \\ &\quad 110(520 - \frac{1}{2}.110) \\ &= 1327639038 \text{ N.mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mnp} &= \text{Apw.fps}(d_p - \frac{1}{2} \alpha) + \text{As}.f_y (d - \frac{1}{2} \alpha) \\ &= 445540,9 (520 - \frac{29,12}{2}) \\ &= 225194116,2 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Cek :

$$\Phi \text{ Mn} \geq \text{Mu max tumpuan}$$

$$0,9 \times 1327639038 \text{ Nmm} \geq 336574264 \text{ Nmm}$$

$$1194875134 \text{ Nmm} \geq 336574264 \text{ Nmm (memenuhi)}$$

○ Momen Nominal Lapangan :

$$\begin{aligned}\text{Apw.fps} &= \text{Aps.fps} + \text{As}_{\text{pakai}}.f_y - (0,85.f_c' (b_{\text{eff}} - b)tp) \\ &= 1501,5 \times 1224,34 + 1963,5 \times 400 - (0,85.40 \\ &\quad (1051,5 - 450) \times 110) \\ &= 374294,5 \text{ N} \\ a &= \text{Apw.fps} / (0,85 \times f_c' \times b_w) \\ &= 374294,5 / (0,85 \times 40 \times 450) \\ &= 24,179 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= A_{s_{pakai}} / (b_w \cdot d) \\ &= 1963,495 / (450 \times 577,5) \\ &= 0,0076\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho' &= A_{s'_{pakai}} / (b_w \cdot d) \\ &= 981,75 / (450 \times 577,5) \\ &= 0,0038\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\omega &= \rho \cdot f_y / f_c \\ &= 0,0076 \times 400 / 40 \\ &= 0,076\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\omega' &= \rho' \cdot f_y / f_c \\ &= 0,0038 \times 400 / 40 \\ &= 0,038\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\omega_p &= \rho \cdot p_s \times f_{ps} / f_c' \\ &= 0,00274 \times 1224,34 / 40 \\ &= 0,0841\end{aligned}$$

Cek Rasio Tulangan

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0,779 \\ 0,36 \beta_1 &= 0,28\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rasio} &= \omega_{pw} + \frac{d}{d_p} \times (\omega_w - \omega'_w) \\ &= 0,0841 + \frac{577,5}{520} \times (0,076 - 0,038) \\ &= 0,126\end{aligned}$$

Cek :

$$\begin{aligned}\text{Rasio} &< 0,28 \\ 0,126 &< 0,28 \rightarrow \text{Tulangan Normal}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mn} &= A_{pw} \cdot f_{ps} (d_p - \frac{1}{2} a) + A_{s_{pakai}} \cdot f_y \times (d - d_p) + \\ &\quad 0,85 f_c' \cdot (b_{eff} - b) \times t_p (d_p - \frac{1}{2} t_p) \\ &= 1501,5 \cdot 1224,34 (520 - \frac{1}{2} \cdot 24,179) + 1963,495 \times \\ &\quad 400 (520 - 73,9) + 0,85 \cdot 40 \cdot (1501,5 - 450) \times 110 \\ &\quad (520 - \frac{1}{2} 110) \\ &= 1281262873 \text{ N.mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{np} &= A_{ps} \cdot f_{ps} (d_p - \frac{1}{2} a) \\
 &= 1501,5 \cdot 1224,34 (520 - \frac{1}{2} \cdot 24,179) \\
 &= 933715377,1 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek :

$$\Phi M_n \geq M_u \text{ max lapangan}$$

$$0,8 \times 1281262873 \text{ Nmm} \geq 239557900 \text{ Nmm}$$

$$1153136585 \text{ Nmm} \geq 239557900 \text{ Nmm} \text{ (memenuhi)}$$

#### 4.7.3. Prestress Partial Ratio (PPR)

- Tumpuan :

$$\begin{aligned}
 \text{PPR} &= M_{np} / M_n \\
 &= 225194116,2 / 1327639038 \\
 &= 17\%
 \end{aligned}$$

Cek :

$$\text{PPR} < 25\%$$

$$17\% < 25\% \quad (\text{OKE})$$

- Lapangan :

$$\begin{aligned}
 \text{PPR} &= M_{np} / M_n \\
 &= 933715377,1 / 1281262873 \\
 &= 72,9\%
 \end{aligned}$$

#### 4.7.4. Perhitungan Tulangan Lentur Prategang Menggunakan ACI 318M-14

- Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned}
 X_b &= \left( \frac{600}{600 + F_y} \right) \times d \\
 &= \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \times 577,5 \\
 &= 346,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Garis netral maksimum

$$\begin{aligned}
 X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\
 &= 0,75 \times 346,5 \\
 &= 259,9 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Garis netral minimum  

$$X_{min} = d'$$

$$= 72,5 \text{ mm}$$
- Garis netral rencana (asumsi)  

$$X_{rencana} = 150 \text{ mm}$$
- $\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f_c - 28)}{7}$   

$$= 0,85 - \frac{0,05(40 - 28)}{7}$$

$$= 0,764$$
- Komponen beton tertekan  

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{rencana}$$

$$C_c' = 0,85 \times 40 \times 450 \times 0,764 \times 150$$

$$C_c' = 1730430 \text{ N}$$
- Luas tulangan Tarik  

$$A_{sc} = \frac{C_c'}{F_y}$$

$$= \frac{1730430}{400}$$

$$= 4326 \text{ mm}^2$$
- Momen nominal tulangan lentur tunggal  

$$M_{nc} = A_{sc} \times F_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right)$$

$$= 4326 \times 400 \times \left( 577,5 - \frac{0,764 \times 200}{2} \right)$$

$$= 901467509 \text{ Nmm}$$
- a. Daerah Tumpuan  
Momen tumpuan = 336574264 Nmm
  - Momen lentur nominal (Mn)  

$$M_{u_{tumpuan}} = 336574264 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{ux}}{\phi}$$

$$= \frac{336574264}{0,9}$$

$$= 373971404,4 \text{ Nmm}$$

- Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} = M_n - M_{nc}$

$$= 373971404,4 - 901467509$$

$$= -527496104 \text{ Nmm}$$

Maka,

$M_{ns} < 0$

$$M_{ns} = -527496104 < 0$$

$\rightarrow$  (Tidak memerlukan tulangan lentur tekan)

- ❖ Jadi analisis berikutnya untuk perhitungan balok digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

#### Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 40} = 11,76$$

Menurut **ACI 318M-14 ch. 9.6.1.2**, syarat  $p_{min}$  :

$$p_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$p_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{F_y} = \frac{0,25 \sqrt{40}}{400} = 0,00395$$

yang menentukan  $p_{min} = 0,0035$

$$p_{max} = 0,025 \text{ (ACI 318M-14 ch. 18.6.3.1)}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{336574264}{0,9 \times 300 \times 577,5^2} = 2,492 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$



$$= \frac{1}{11,76} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,76 \times 2,492}{400}} \right]$$

$$= 0,0065$$

Kontrol Syarat:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0031 < 0,0065 < 0,025 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- Luasan perlu (As perlu) tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} As &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0065 \times 450 \times 577,5 \\ &= 1683 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luasan tulangan puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur tarik

$$\frac{Al}{4} = 391,57 \text{ mm}^2$$

- Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$\begin{aligned} As_{\text{perlu}} &= As_{\text{perlu tul. Lentur tarik}} + As_{\text{tul. Puntir untuk tul. lentur tarik}} \\ &= 1683 \text{ mm}^2 + 391,57 \text{ mm}^2 \\ &= 2074,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} n &= \frac{As_{\text{perlu}}}{\text{Luasan D lentur}} \\ &= \frac{2074,6}{\frac{1}{4} \pi 25^2} \\ &= 4,226 \text{ buah} \approx 5 \text{ buah} \end{aligned}$$

- Luasan tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\ &= 2454,37 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol Syarat:

As pasang > As perlu

$$2454,37 \text{ mm}^2 > 2295 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- Luasan pasang ( $A_s'$ ) tulangan lentur tekan  
 $A_s'$  perlu = Luasan tulangan lentur tarik + luasan  
 tambahan torsi longitudinal sisi atas  
 balok

$$= A_s + \frac{A_l}{4}$$

$$= 0 + 391,57 = 391,57 \text{ mm}^2$$

- Jumlah tulangan lentur tekan

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{Luasan D lentur}}$$

$$= \frac{391,57}{\frac{1}{4} \pi 25^2}$$

$$= 0,80 \approx 3 \text{ buah}$$

- Luasan tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas D lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\ &= 1472,62 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol Syarat:

As pasang > As perlu

$$1472,62 \text{ mm}^2 > 391,57 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Direncanakan :

✓ Tulangan tarik = 1 lapis (5D25)

✓ Tulangan tekan = 1 lapis (3D25)

Kontrol tulangan tarik 1 lapis

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$= \frac{300-(2 \times 50)-(2 \times 10)-(5 \times 25)}{5-1}$$

$$= 127,5 \text{ mm}$$

S maks  $\geq$  S syarat agregat

127,5 mm  $\geq$  25mm  $\rightarrow$  (Memenuhi)

Kontrol tulangan tekan 1 lapis

$$S_{\max} = \frac{b-(2 \times t \text{ selimut})-(2 \times D \text{ geser})-(n \times \emptyset b)}{n-1}$$

$$= \frac{300-(2 \times 50)-(2 \times 10)-(3 \times 25)}{3-1}$$

$$= 127,5 \text{ mm}$$

S maks  $\geq$  S syarat agregat

127,5 mm  $\geq$  25mm  $\rightarrow$  (Memenuhi)

- Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik terpenuhi ( $S_{\max} \geq 25\text{mm}$ ) , maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis
- o Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint tersebut. Baik kekuatan momen negatif pada sebarang penampang sepanjang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint tersebut.

$M \text{ lentur tumpuan}(+) \geq 1/2 \times M \text{ lentur tumpuan}(-)$

**(ACI 318M-14 ch. 18.6.3.2)**

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \pi \times 25^2 \\ &= 2454,37 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\
 &= 3 \times 0,25 \pi \times 25^2 \\
 &= 1472,62 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$M_{\text{lentur tumpuan}(+) } \geq \frac{1}{2} M_{\text{lentur tumpuan}(-)}$$

$$1472,62 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{2} 2454,37 \text{ mm}^2$$

$$1472,62 \text{ mm}^2 \geq 1227,18 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

○ Kontrol Kemampuan Penampang

$$\alpha = \frac{A_{s \text{ pakai}} \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{2454,37 \times 400}{0,85 \times 40 \times 450} = 64,17 \text{ mm}$$

Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{\alpha}{\beta_1} = \frac{64,17}{0,754} = 85,101 \text{ mm}$$

$$0,375 d_t = 0,375 \times 577,5 = 216,563 \text{ mm}$$

Syarat :

$$c \leq 0,375 d_t \rightarrow \text{kondisi terkontrol Tarik}$$

$$85,101 \text{ mm} \leq 216,563 \text{ mm} \text{ (asumsi benar, } \phi = 0,9)$$

○ Kontrol Regangan

$$\begin{aligned}
 \epsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{577,5 - 64,17}{64,17} \times 0,003 \\
 &= 0,017 > 0,005
 \end{aligned}$$

Jadi, balok prategang termasuk pada penampang terkendali tarik dengan faktor reduksi  $\phi = 0,9$ .

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ pasang} &= A_s \times F_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 2454,37 \times 400 \times \left( 577,5 - \frac{64,2}{2} \right) \\
 &= 540186283,8 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka:

$M_n \text{ pasang} > M_n \text{ perlu}$

$$540186283,8 \text{ Nmm} > 373971404,4 \text{ Nmm} \text{ (OKE)}$$

❖ Maka pada balok prategang untuk daerah tumpuan:

✓ Tulangan lentur tarik susun 1 lapis

Lapis 1= 5D25

✓ Tulangan lentur tekan susun 1 lapis

Lapis 1= 3D25

b. Daerah Lapangan

Momen lapangan = 239557900 Nmm

○ Momen lentur nominal ( $M_n$ )

$$M_{u_{\text{lapangan}}} = 239557900 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{ux}}{\phi}$$

$$= \frac{239557900}{0,9}$$

$$= 266175444 \text{ Nmm}$$

○ Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$  maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= 266175444 - 901467508,5$$

$$= -635292064,5 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$$M_{ns} = -635292064,5 < 0$$

$\rightarrow$  (Tidak memerlukan tulangan lentur tekan)

❖ Jadi analisis berikutnya untuk perhitungan balok digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 40} = 12$$

Menurut **ACI 318M-14 ch. 9.6.1.2** syarat  $\rho_{min}$  :

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{F_y} = \frac{0,25 \sqrt{40}}{400} = 0,00395$$

yang menentukan  $\rho_{min} = 0,0035$

$$\rho_{max} = 0,025 \quad (\text{ACI 314M-14 ch. 18.6.3.1})$$

$$R_n = \frac{M_n}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{239557900}{0,9 \times 300 \times 577,5^2} = 1,77 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right] \\ &= \frac{1}{12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12 \times 1,77}{400}} \right] \\ &= 0,0046 \end{aligned}$$

Kontrol Syarat:

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0031 < 0,0046 < 0,025 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- Luasan perlu (As perlu) tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0046 \times 450 \times 577,5 \\ &= 1184 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luasan tulangan puntir yang ditambahkan pada tulangan lentur tarik

$$A_t = 391,57 \text{ mm}^2$$

- Luasan tulangan lentur tarik + luasan tulangan puntir

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \text{As perlu tul. Lentur tarik} + \text{As tul. Puntir untuk tul. lentur tarik} \\ &= 1184 \text{ mm}^2 + 391,57 \text{ mm}^2 \\ &= 1575,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan D lentur}} \\ &= \frac{1575,6}{\frac{1}{4} \pi 25^2} \\ &= 3,21 \approx 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

- Luasan tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\ &= 1963,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol Syarat:

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &> \text{As perlu} \\ 1963,5 \text{ mm}^2 &> 1575,6 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi}) \end{aligned}$$

- Luasan pasang (As') tulangan lentur tekan

As' perlu = Luasan tulangan lentur tarik + luasan tambahan torsi longitudinal sisi atas balok

$$\begin{aligned} &= \text{As} + \frac{\text{At}}{4} \\ &= 0 + 391,57 = 391,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan lentur tekan

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{Luasan D lentur}}$$

$$= \frac{391,57}{\frac{1}{4}\pi 25^2}$$

$$= 0,80 \approx 2 \text{ buah}$$

- Luasan tulangan lentur tekan
  - As pasang = n pasang x luasan D lentur
  - = 2 x 0,25 x  $\pi$  x 25<sup>2</sup>
  - = 981,75 mm<sup>2</sup>

Kontrol Syarat:

As pasang > As perlu

$$981,75 \text{ mm}^2 > 391,57 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

- Kontrol jarak spasi tulangan pakai
  - Direncanakan :
  - ✓ Tulangan tarik = 1 lapis (4D25)
  - ✓ Tulangan tekan = 1 lapis (2D25)
  - ✓

Kontrol tulangan tarik 1 lapis

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$= \frac{300 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (4 \times 25)}{4 - 1}$$

$$= 76,67 \text{ mm}$$

S maks ≥ S syarat agregat

$$76,67 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \rightarrow (\text{Memenuhi})$$

Kontrol tulangan tekan 1 lapis

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$= \frac{300 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (2 \times 25)}{2 - 1}$$

$$= 280 \text{ mm}$$

S maks ≥ S syarat agregat

$$280 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \rightarrow (\text{Memenuhi})$$



- Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik terpenuhi ( $S_{max} \geq 25\text{mm}$ ) , maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis
- o Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint tersebut. Baik kekuatan momen negatif pada sebarang penampang sepanjang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint tersebut.

$$M_{\text{lentur lapangan}(+) \geq 1/4 \times M_{\text{lentur tumpuan}(-)}$$

**(ACI 318M-14 ch. 18.6.3.2)**

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \pi \times 25^2 \\ &= 2454,37 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \pi \times 25^2 \\ &= 981,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{\text{lentur lapangan}(+) \geq 1/4 M_{\text{lentur tumpuan}(-)}$$

$$981,75 \text{ mm}^2 \geq 1/4 \times 2454,37 \text{ mm}^2$$

$$981,75 \text{ mm}^2 \geq 613,59 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

- o Kontrol Kemampuan Penampang  
Tinggi balok tegangan persegi ekivalen

$$\alpha = \frac{A_{s \text{ pakai}} \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{1963,5 \times 400}{0,85 \times 40 \times 450} = 51,33 \text{ mm}$$

Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

$$c = \frac{\alpha}{\beta_1} = \frac{51,33}{0,754} = 68,081 \text{ mm}$$

$$0,375 \text{ dt} = 0,375 \times 577,5 = 216,563 \text{ mm}$$

Syarat :

$$c \leq 0,375 \text{ dt} \rightarrow \text{kondisi terkontrol Tarik}$$

$$68,081 \text{ mm} \leq 216,563 \text{ mm} \text{ (asumsi benar, } \phi = 0,9 \text{)}$$

○ Kontrol Regangan

$$\begin{aligned} \varepsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{577,5 - 68,08}{68,08} \times 0,003 \\ &= 0,022 > 0,005 \end{aligned}$$

Jadi, balok prategang termasuk pada penampang terkendali tarik dengan faktor reduksi  $\phi = 0,9$ .

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \times F_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1963,5 \times 400 \times \left( 577,5 - \frac{51,3}{2} \right) \\ &= 436432709,5 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka:

$M_n \text{ pasang} > M_n \text{ perlu}$

$$436432709,5 \text{ Nmm} > 299447374,5 \text{ Nmm} \text{ (OKE)}$$

❖ Maka pada balok prategang untuk daerah tumpuan:

✓ Tulangan lentur tarik susun 1 lapis

Lapis 1 = 4D25

✓ Tulangan lentur tekan susun 1 lapis

Lapis 1 = 2D25

#### 4.7.5. Momen Nominal Prategang Menggunakan ACI 318M-14

○ Data Perencanaan :

$$A_{ps} = 1501,5 \text{ mm}^2$$

$$t_p = 110 \text{ mm}$$

$$b_{eff} = 1051,5 \text{ mm}$$

$$f_{py}/f_{pu} = 0,9$$

$$\gamma_p = 0,28 \text{ (ACI 318M-14 Table 20.3.2.3.1)}$$

$$f_{se} = 1008,68 \text{ MPa}$$

$$f_{pu} = 1838,2 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} f_{py} &= 0,9 f_{pu} \\ &= 0,9 \times 1838,2 \text{ MPa} \\ &= 1654,35 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{p_{tumpuan}} &= Y_b + e_{tumpuan} < 0,8 \times h \\ &= 374,81 + 80 < 0,8 \times 650 \\ &= 454,81 \text{ mm} < 520 \text{ mm} \end{aligned}$$

maka digunakan  $d_{p_{tumpuan}}$  sebesar 520 mm

$$\begin{aligned} d_{p_{lapangan}} &= Y_t + e_{lapangan} < 0,8 \times h \\ &= 275,19 + 214,8 < 0,8 \times 650 \\ &= 490 \text{ mm} < 520 \text{ mm} \end{aligned}$$

maka digunakan  $d_{p_{lapangan}}$  sebesar 520 mm

$$\begin{aligned} \rho_{p_{tumpuan}} &= A_{ps} / (b \times d_p) \\ &= 1501,5 \text{ mm}^2 / (450 \text{ mm} \times 520 \text{ mm}) \\ &= 0,00642 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{p_{lapangan}} &= A_{ps} / (b_{eff} \times d_p) \\ &= 1501,5 \text{ mm}^2 / (1051,5 \text{ mm} \times 520 \text{ mm}) \\ &= 0,00275 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L/h &= 12000 \text{ mm} / 650 \text{ mm} \\ &= 18,46 < 35 \end{aligned}$$

Rasio bentang/tinggi < 35

Menurut ACI 318M-14 ch. 20.3.2.4.1 sebagai alternatif agar perhitungan  $f_{ps}$  lebih akurat, nilai  $f_{ps}$  dihitung berdasarkan pada tabel 20.3.2.3.1 diijinkan untuk struktur prategang dengan tendon tak terlekat jika  $f_{se} \geq f_{pu}$ :

Tumpuan :

$$\begin{aligned} f_{ps} &= f_{se} + 70 + \frac{f'_c}{100 \rho_p} \\ &= 1008,18 + 70 + \frac{40}{100 \times 0,00642} \\ &= 1141,02 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tetapi  $f_{ps}$  tidak boleh diambil lebih besar dari yang lebih kecil dari:

$$\begin{aligned} f_{py} &= 1654,35 \text{ MPa, dan} \\ f_{se} + 420 &= 1008,68 \text{ MPa} + 420 \\ &= 1141,02 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Maka digunakan  $f_{ps} = 1161,5 \text{ MPa}$

Lapangan:

$$\begin{aligned} f_{ps} &= f_{se} + 70 + \frac{f'_c}{100 \rho_p} \\ &= 1008,68 + 70 + \frac{40}{100 \times 0,00275} \\ &= 1224,34 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tetapi  $f_{ps}$  tidak boleh diambil lebih besar dari yang lebih kecil dari:

$$\begin{aligned} f_{py} &= 1654,35 \text{ MPa, dan} \\ f_{se} + 420 &= 1224,34 \text{ MPa} + 420 \\ &= 1428,7 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Maka digunakan  $f_{ps} = 1224,34 \text{ MPa}$

Tumpuan :

$$\alpha = \frac{A_{ps} f_{ps} + A_s f_y - A'_s f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{(1501,5 \times 1141,02) + (2454,37 \times 400) - (1472,62 \times 400)}{0,85 \times 40 \times 450} = 138 \text{ mm}$$

Cek :

 $\alpha > t_p \rightarrow \text{Balok T}$  $\alpha < t_p \rightarrow \text{Balok Biasa}$  $138 \text{ mm} > 110 \text{ mm} \rightarrow \text{Balok T}$ Lapangan :

$$\alpha = \frac{A_{ps} f_{ps} + A_s f_y - A'_s f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{(1501,5 \times 1224,34) + (1963,5 \times 400) - (981,75 \times 400)}{0,85 \times 40 \times 450} = 146 \text{ mm}$$

Cek :

 $\alpha > t_p \rightarrow \text{Balok T}$  $\alpha < t_p \rightarrow \text{Balok Biasa}$  $146 \text{ mm} > 110 \text{ mm} \rightarrow \text{Balok T}$ 

## ○ Momen Nominal Tumpuan :

$$\begin{aligned} \text{Apw.fps} &= \text{Aps.fps} + \text{As}_{\text{pakai}} \cdot f_y - (0,85 \cdot f'_c (b_{\text{eff}} - b) t_p) \\ &= 1501,5 \times 1141,02 + 2454,37 \times 400 - \\ &\quad (0,85 \cdot 40 (1051,5 - 450) \times 110) \\ &= 445540,9 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \text{Apw.fps} / (0,85 \times f'_c \times b_w) \\ &= 445540,9 / (0,85 \times 40 \times 450) \\ &= 29,12 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \text{As}_{\text{pakai}} / (b_w \cdot d) \\ &= 2454,37 / (450 \times 577,5) \\ &= 0,0094 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho' &= \text{As}'_{\text{pakai}} / (b_w \cdot d) \\ &= 1472,62 / (450 \times 577,5) \\ &= 0,0057 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \omega &= \rho \cdot f_y / f_c \\
 &= 0,0094 \times 400 / 40 \\
 &= 0,094 \\
 \omega' &= \rho' \cdot f_y / f_c \\
 &= 0,0057 \times 400 / 40 \\
 &= 0,057 \\
 \omega_p &= \rho \cdot \rho_s \times f_{ps} / f_c' \\
 &= 0,00642 \times 1141,04 / 40 \\
 &= 0,183
 \end{aligned}$$

Cek Rasio Tulangan

$$\beta_1 = 0,779$$

$$0,36 \beta_1 = 0,27$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rasio} &= \omega_{pw} + \frac{d}{d_p} \times (\omega_w - \omega'_w) \\
 &= 0,183 + \frac{577,5}{520} \times (0,094 - 0,057) \\
 &= 0,22
 \end{aligned}$$

Cek :

$$\text{Rasio} < 0,28$$

$$0,22 < 0,28 \rightarrow \text{Tulangan Normal}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_{pw} \cdot f_{ps} (d_p - \frac{1}{2} a) + A_{spakai} \cdot f_y \times (d - d_p) + \\
 &\quad 0,85 f_c' \cdot (b_{eff} - b) \times t_p (d_p - \frac{1}{2} t_p) \\
 &= 445540,9 (520 - \frac{1}{2} \cdot 29,12) + 2545,37 \times 400 \\
 &\quad (577,5 - 520) + 0,85 \cdot 40 \cdot (1051,5 - 450) \times \\
 &\quad 110 (520 - \frac{1}{2} \cdot 110) \\
 &= 1327639038 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{np} &= A_{pw} \cdot f_{ps} (d_p - \frac{1}{2} a) \\
 &= 445540,9 (520 - \frac{31,13}{2}) \\
 &= 225194116,2 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek :

$$\Phi M_n \geq M_u \text{ max tumpuan}$$

$$0,9 \times 1327639038 \text{ Nmm} \geq 336574264 \text{ Nmm}$$

$$1194875134 \text{ Nmm} \geq 336574264 \text{ Nmm (memenuhi)}$$

○ Momen Nominal Lapangan :

$$\begin{aligned}
 \text{Apw.fps} &= \text{Aps.fps} + \text{As}_{\text{pakai}} \cdot f_y - (0,85 \cdot f_c' (b_{\text{eff}} - b) t_p) \\
 &= 1501,5 \times 1224,34 + 1963,5 \times 400 - (0,85 \cdot 40 \\
 &\quad (1051,5 - 450) \times 110) \\
 &= 374294,5 \text{ N} \\
 a &= \text{Apw.fps} / (0,85 \times f_c' \times b_w) \\
 &= 374294,5 / (0,85 \times 40 \times 450) \\
 &= 24,179 \text{ mm} \\
 \rho &= \text{As}_{\text{pakai}} / (b_w \cdot d) \\
 &= 1963,495 / (450 \times 577,5) \\
 &= 0,0076 \\
 \rho' &= \text{As}'_{\text{pakai}} / (b_w \cdot d) \\
 &= 981,75 / (450 \times 577,5) \\
 &= 0,0038 \\
 \omega &= \rho \cdot f_y / f_c \\
 &= 0,0076 \times 400 / 40 \\
 &= 0,076 \\
 \omega' &= \rho' \cdot f_y / f_c \\
 &= 0,0038 \times 400 / 40 \\
 &= 0,038 \\
 \omega_p &= \rho \cdot p_s \times f_{ps} / f_c' \\
 &= 0,00274 \times 1224,34 / 40 \\
 &= 0,0841
 \end{aligned}$$

Cek Rasio Tulangan

$$\beta_1 = 0,779$$

$$0,36 \beta_1 = 0,27$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rasio} &= \omega_{pw} + \frac{d}{d_p} \times (\omega_w - \omega'_w) \\
 &= 0,0841 + \frac{577,5}{520} \times (0,076 - 0,038) \\
 &= 0,126
 \end{aligned}$$

Cek :

$$\text{Rasio} < 0,28$$

$$0,126 < 0,28 \rightarrow \text{Tulangan Normal}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_{pw}.f_p(d_p - \frac{1}{2} a) + A_{spakai}.f_y \times (d - d_p) + \\
 &\quad 0,85f_c'.(b_{eff} - b) \times t_p(d_p - \frac{1}{2} t_p) \\
 &= 1501,5.1224,34(520 - \frac{1}{2}.24,179) + 1963,495 \times \\
 &\quad 400 (490 - 73,9) + 0,85.40.(1501,5-450) \times 110 \\
 &\quad (520 - \frac{1}{2} 110) \\
 &= 1281262873 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{np} &= A_{ps}.f_p(d_p - \frac{1}{2} a) \\
 &= 1501,5.1224,34 (520 - \frac{1}{2}.24,179) \\
 &= 933715377,1 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek :

$\Phi M_n \geq M_u \text{ max lapangan}$

$$0,9 \times 1281262873 \text{ Nmm} \geq 239557900 \text{ Nmm}$$

$$1153136585 \text{ Nmm} \geq 239557900 \text{ Nmm (memenuhi)}$$

#### 4.7.6. Prestress Partial Ratio (PPR)

- Tumpuan :

$$\begin{aligned}
 PPR &= M_{np}/M_n \\
 &= 225194116,2 / 1327639038 \\
 &= 17\%
 \end{aligned}$$

Cek :

$$PPR < 25\%$$

$$17\% < 25\% \quad (\text{OKE})$$

- Lapangan :

$$\begin{aligned}
 PPR &= M_{np}/M_n \\
 &= 933715377,1/1281262873 \\
 &= 72,9\%
 \end{aligned}$$



#### 4.8. Hasil Perbandingan Studi Balok Prategang Berdasarkan SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013 Dan ACI 318M-14

##### 4.8.1. Umum

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai hasil dari studi yang telah dilakukan. Hasil berupa rekapitulasi perhitungan masing-masing SNI yang ditabelkan dan nantinya akan dibandingkan.

##### 4.8.2. Rekap Hasil Studi

Perhitungan dari masing-masing SNI telah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya sehingga didapatkan hasil sebagai berikut :

**Tabel 4. 35** Rekapitulasi Hasil Studi

No.	Parameter	SNI 03-2847-2002	SNI 2847:2013	ACI 318M-14
I	Beton Prategang			
1	Panjang Bentang	12 m	12 m	12
2	Dimensi Balok	450x650 mm	450x650 mm	450x650
3	Mutu Beton	40 MPa	40 MPa	40
4	Mutu Baja	400 MPa	400 MPa	400
5	Jumlah Tendon	1 buah	1 buah	1
6	Momen Ultimate Tumpuan	336574264 Nmm	336574264 Nmm	336574264 Nmm
7	Momen Ultimate Lapangan	239557900 Nmm	239557900 Nmm	239557900 Nmm
8	Koefisien Reduksi Lentur, $\phi$	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>	<b>0,9</b>
9	Koefisien Tahanan, $R_n$			
	Tumpuan	<b>2,803</b>	<b>2,49</b>	<b>2,49</b>
	Lapangan	<b>2</b>	<b>1,77</b>	<b>1,77</b>
10	$\rho$ perlu tumpuan	<b>0,00732</b>	<b>0,00648</b>	<b>0,00648</b>
11	$\rho$ perlu lapangan	<b>0,00514</b>	<b>0,00456</b>	<b>0,00456</b>
12	Tulangan Tumpuan Negatif	5 D25	5 D25	5 D25
13	Tulangan Tumpuan Positif	3 D25	3 D25	3 D25
14	Tulangan Lapangan Negatif	4 D25	4 D25	4 D25
14	Tulangan Lapangan Positif	2 D25	2 D25	2 D25
15	Momen Nominal Tumpuan	<b>420717830 Nmm</b>	<b>37391404,4 Nmm</b>	<b>37391404,4 Nmm</b>

No.	Parameter	SNI 03-2847-2002	SNI 2847:2013	ACI 318M-14
16	Momen Nominal Lapangan	<b>299447374,5Nmm</b>	<b>266175444 Nmm</b>	<b>266175444 Nmm</b>
17	Jenis Tendon	Tak Terlekat	Tak Terlekat	Tak Terlekat
18	$\beta_1$	<b>0,779</b>	<b>0,754</b>	<b>0,754</b>
19	Momen Nominal Prategang	933715377,1 Nmm	933715377,1 Nmm	933715377,1 Nmm
20	Momen Nominal Total	1281262873 Nmm	1281262873 Nmm	1281262873 Nmm
21	PPR	17 %	17 %	17 %

Dari hasil perbandingan diatas didapatkan hasil yang sama antara SNI 2847:2013 dengan ACI 318M-14, sedangkan SNI 03-2847-2002 dengan SNI 2847:2013 memiliki perbedaan yang tidak signifikan sehingga didapatkan jumlah dan ukuran tulangan lentur yang sama . Hal ini dikarenakan perbedaan antara SNI 03-2847-2002 dengan SNI 2847:2013 hanya terdapat pada koefisien rumus, sehingga tidak memberikan dampak yang besar pada jumlah dan ukuran tulangan lentur yang ada.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Dari perhitungan yang telah dijelaskan pada bab-bab sebelumnya didapatkan kesimpulan sesuai judul dari penulisan tugas akhir ini yaitu “Studi Perbandingan Kekuatan Lentur Balok Prategang Di Daerah Risiko Gempa Berdasarkan SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013 Dan ACI 318M-14 Pada Sturuktur Apartamen Enviro Bekasi” ini dapat ditarik kesimpulan, diantaranya sebagai berikut :

1. Bangunan Gedung Apartemen Enviro termasuk dalam kategori KDS D sehingga perencanaan bangunan ini menggunakan SRPMK.
2. Dari hasil perhitungan beton prategang pada bangunan ini didapatkan nilai PPR mencapai rasio 17% dengan batas maksimal 25% sehingga telah memenuhi syarat ketentuan yang ada.
3. Hasil tulangan lentur pada balok prategang yang didapatkan dari tiga perturan tersebut menghasilkan tidak signifikan, sehingga untuk struktu-struktur gedung lain yang sudah didesau berdasarkan SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013, maupun ACI 318M-14 tidak menemui masalah dalam kebutuhan tulangan lentur yang sudah terpasang pada struktur.

#### **5.2. Saran**

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan, berikut beberapa saran yang dapat diajukan :

1. Diperlukan adanya studi lanjutan terhadap beton prategang kondisi terlekat dan dimensi beton pratekan yang paling efisien hingga mendapatkan tulangan lunak berdasarkan SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013 dan ACI 318M-14.
2. Diperlukan adanya studi lanjutan berupa biaya material yang dibutuhkan untuk tulangan lentur.

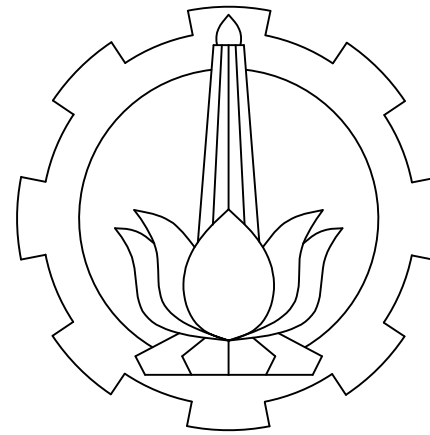
## DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute. 2014. *Building Code Requirement for Structural Concrete (ACI) 318-14*. Oakland.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. **Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)**. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. **Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 1726:2012)**. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. **Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2013)**. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. **Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013)**. Jakarta: BSN.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. 1971. **Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBBI 1970)**. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1983. **Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983)**. Jakarta: PU.
- Lin, T.Y., dan Burns, N.H. 1996. **Desain Struktur Beton Prategang Jilid 1**. Jakarta: Erlangga.
- Nawy, Edward G. 1996. *Prestress Concrete : A Fundamental Approach, 2nd Edition*. New Jersey: Prentice Hall.
- Raju, N. K. 1989. **Beton Prategang Edisi Kedua**. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Rachmat, Tawio, Iswandi, Raka. 2007. **Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung [SNI 03-2847-2002] Dilengkapi Penjelasan [S-2002]**. Surabaya: ITS Press.

“Halaman ini sengaja dikosongkan ... “

# GAMBAR PERENCANAAN

**STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN LENTUR BALOK PRATEGANG DI DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013 DAN ACI 318M-14 PADA STRUKTUR APARTEMEN  
ENVIRO BEKASI**



Oleh

Mahasiswa

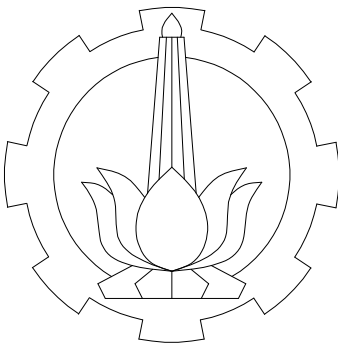
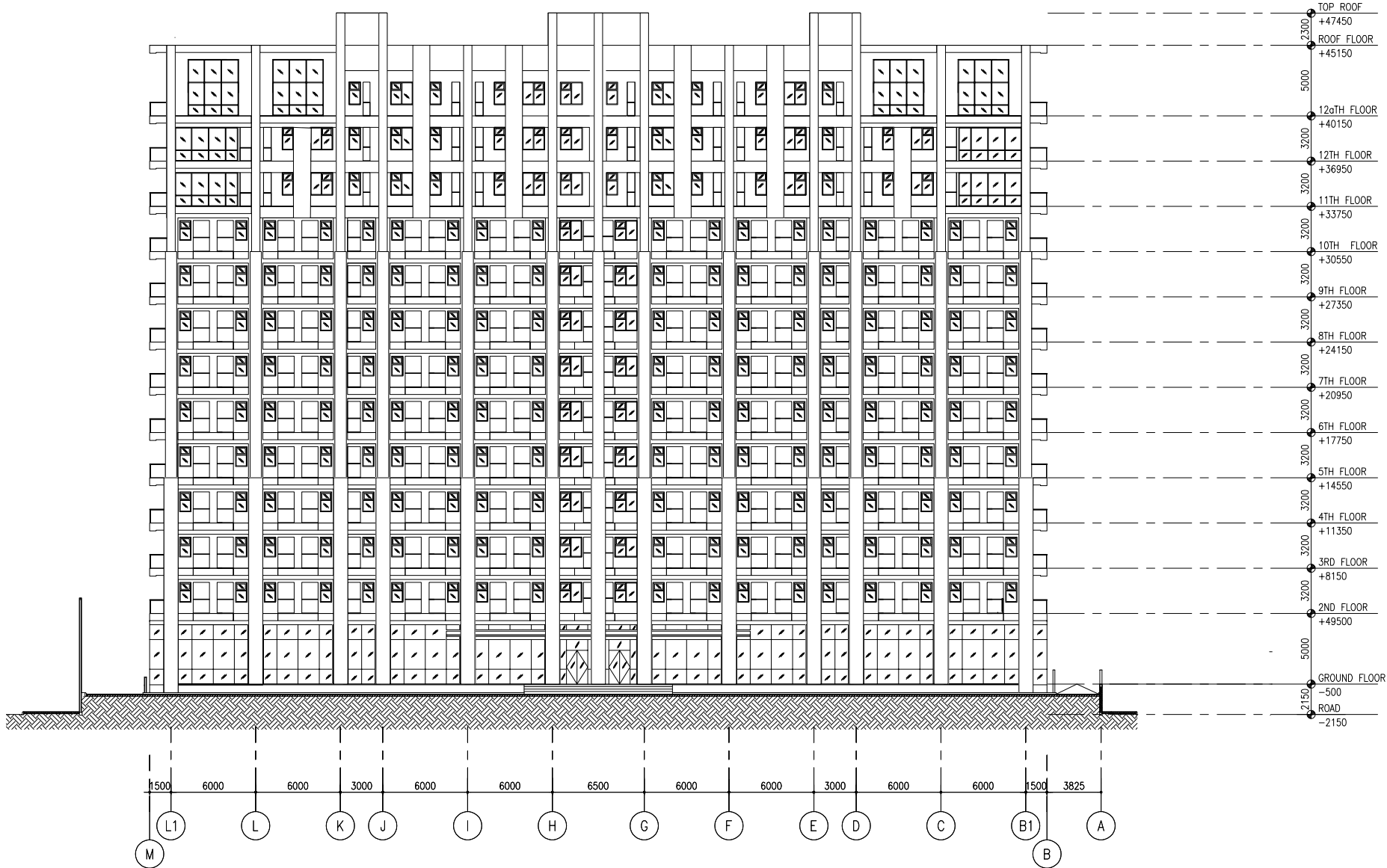
Hemas Mutia Anggraini  
NRP. 3116105011

Pembimbing Tugas Akhir

Dosen Pembimbing 1  
Prof. Tavio., ST., MT., Ph.D  
NIP. 19700327 199702 1 001

Dosen Pembimbing 2  
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka  
NIP.19550408 198203 1 003

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
2018**



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN KEBUMIHAN  
DEPARTEMAN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN LENTUR  
BALOK PRATEGANG DI DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013  
DAN ACI 318M-14 PADA STRUKTUR  
APARTEMEN ENVIRO BEKASI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001

Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

MAHASISWA

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

JUDUL GAMBAR

TAMPAK DEPAN

SKALA

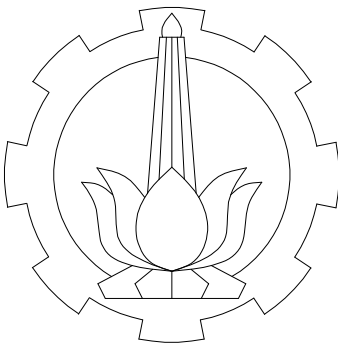
1 : 400

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	: Apartemen
Lokasi	: Bekasi
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 25 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
ARS	01	33





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN LENTUR  
BALOK PRATEGANG DI DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013  
DAN ACI 318M-14 PADA STRUKTUR  
APARTEMEN ENVIRO BEKASI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001

Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

MAHASISWA

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

JUDUL GAMBAR

TAMPAK SAMPING

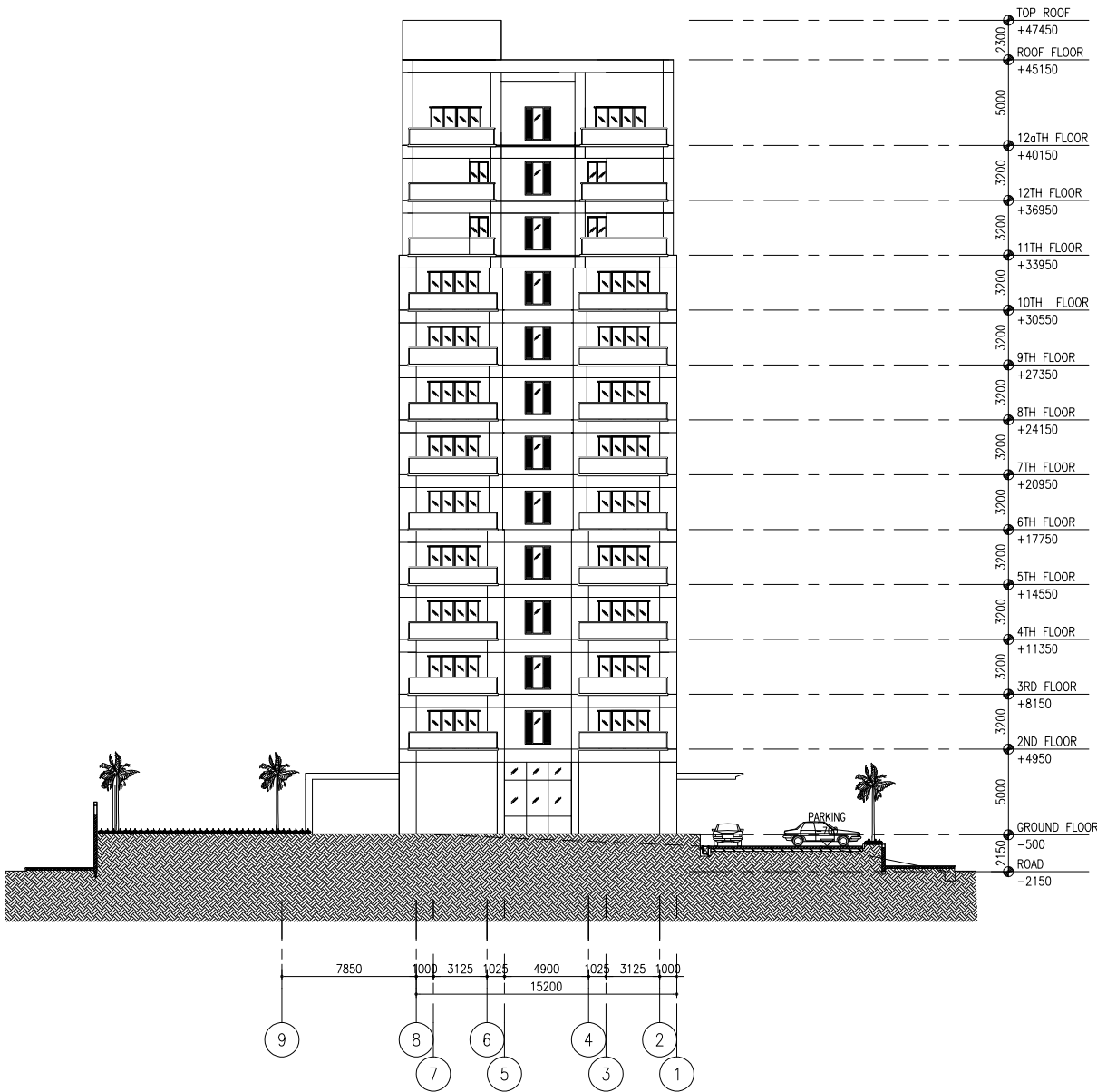
SKALA

1 : 400

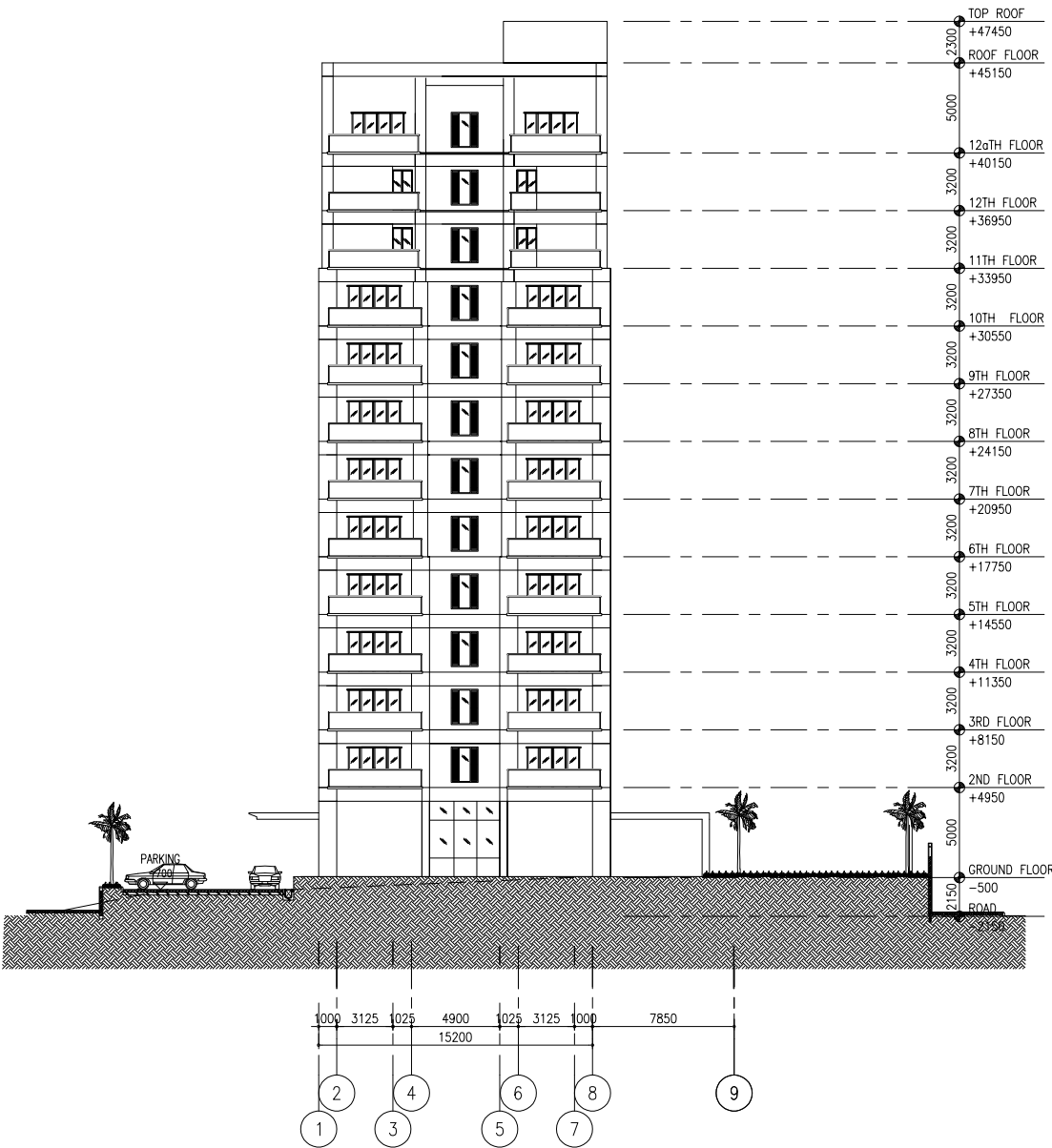
DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	: Apartemen
Lokasi	: Bekasi
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 25 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa

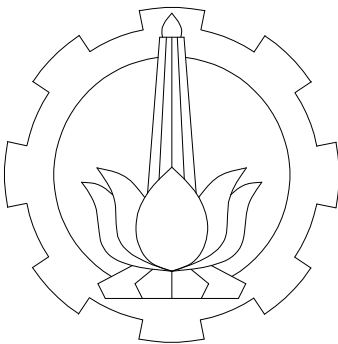
KODE GBR	NO GBR	JML GBR
ARS	02	33



TAMPAK SAMPING KIRI



TAMPAK SAMPING KANAN



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN  
LENTUR BALOK PRATEGANG DI  
DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI  
2847:2013 DAN ACI 318M-14 PADA  
STRUKTUR APARTEMEN ENVIRO  
BEKASI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001

Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

MAHASISWA

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

JUDUL GAMBAR

DENAH LANTAI GF

SKALA

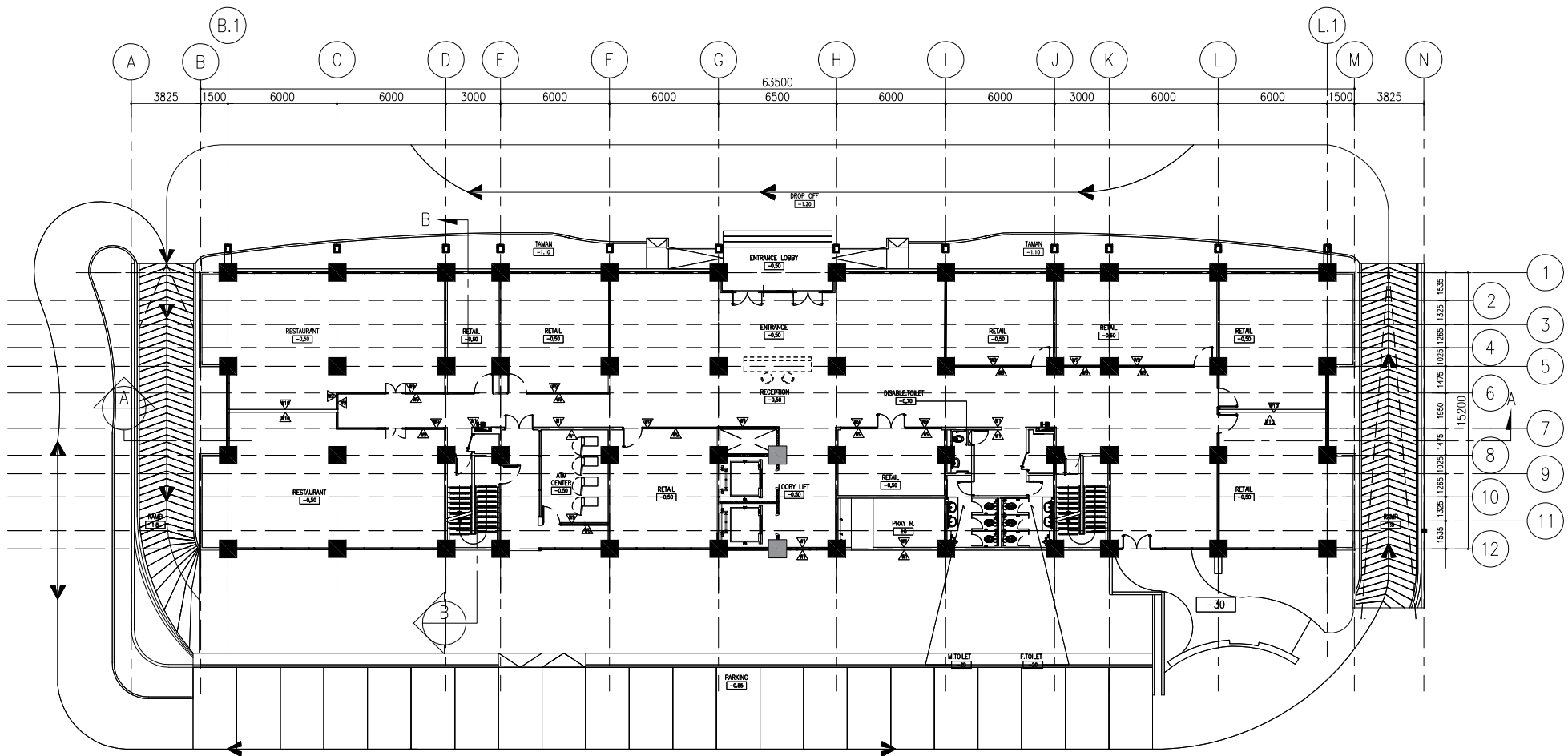
1 : 300

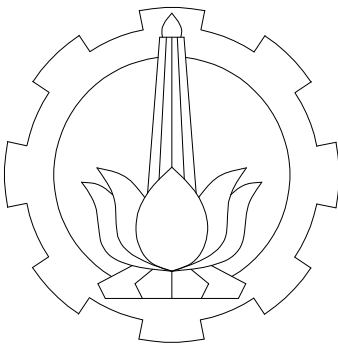
DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	: Apartemen
Lokasi	: Bekasi
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 25 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
----------	--------	---------

ARS	03	33
-----	----	----





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN  
LENTUR BALOK PRATEGANG DI  
DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI  
2847:2013 DAN ACI 318M-14 PADA  
STRUKTUR APARTEMEN ENVIRO  
BEKASI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001

Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

MAHASISWA

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

JUDUL GAMBAR

DENAH LANTAI 2 - 5

SKALA

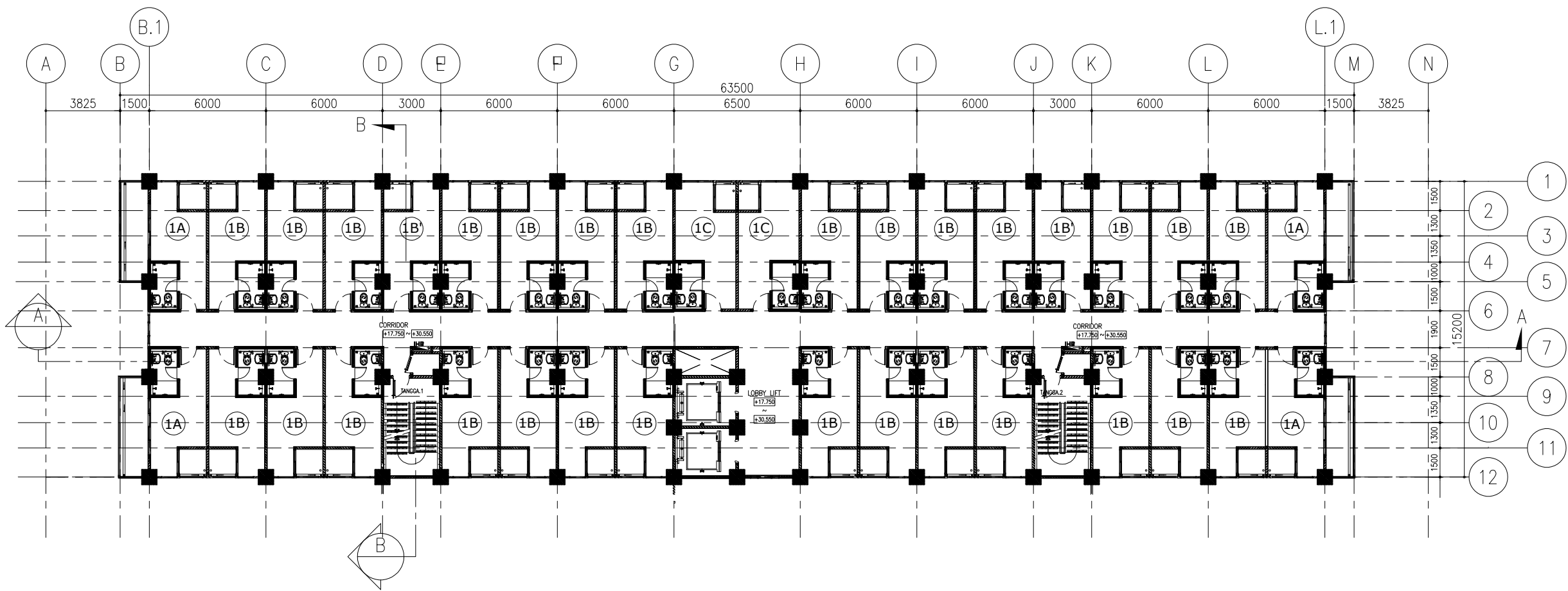
1 : 250

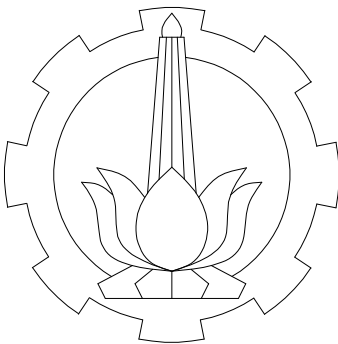
DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	: Apartemen
Lokasi	: Bekasi
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 25 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
----------	--------	---------

ARS	04	33
-----	----	----





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN  
LENTUR BALOK PRATEGANG DI  
DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI  
2847:2013 DAN ACI 318M-14 PADA  
STRUKTUR APARTEMEN ENVIRO  
BEKASI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001

Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

MAHASISWA

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

JUDUL GAMBAR

DENAH LANTAI 6 - 10

SKALA

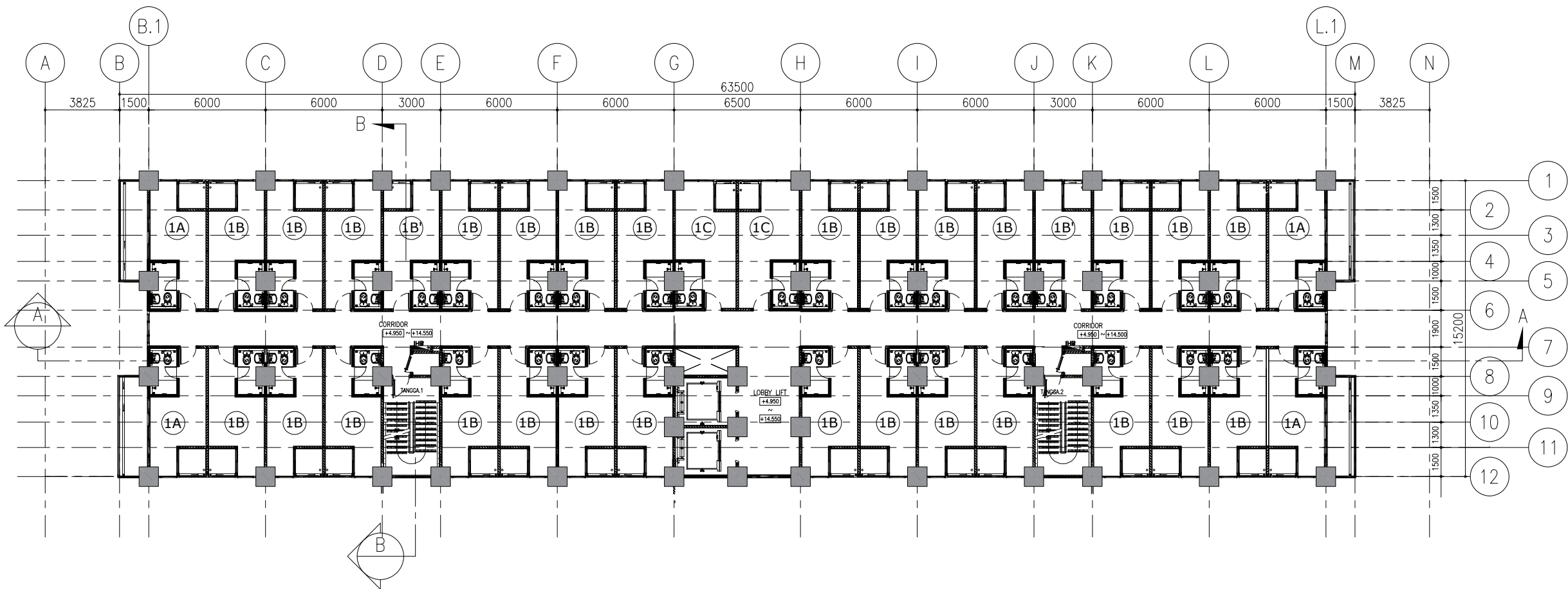
1 : 250

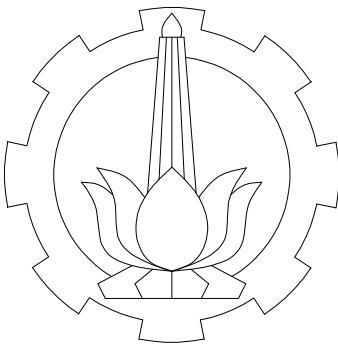
DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan : Apartemen  
Lokasi : Bekasi  
Kondisi Tanah : Sedang  
Metode Perencanaan : SRPMK & Balok Pratekan  
Periode Gempa : 2500 tahun  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur fy : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser fy : 240 Mpa  
- Balok, Plat : 25 Mpa  
- Kolom : 35 Mpa  
- Balok Pratekan : 40 Mpa

KODE GBR NO GBR JML GBR

ARS 05 33





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN  
LENTUR BALOK PRATEGANG DI  
DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI  
2847:2013 DAN ACI 318M-14 PADA  
STRUKTUR APARTEMEN ENVIRO  
BEKASI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001

Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

MAHASISWA

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

JUDUL GAMBAR

DENAH LANTAI 11 - 12

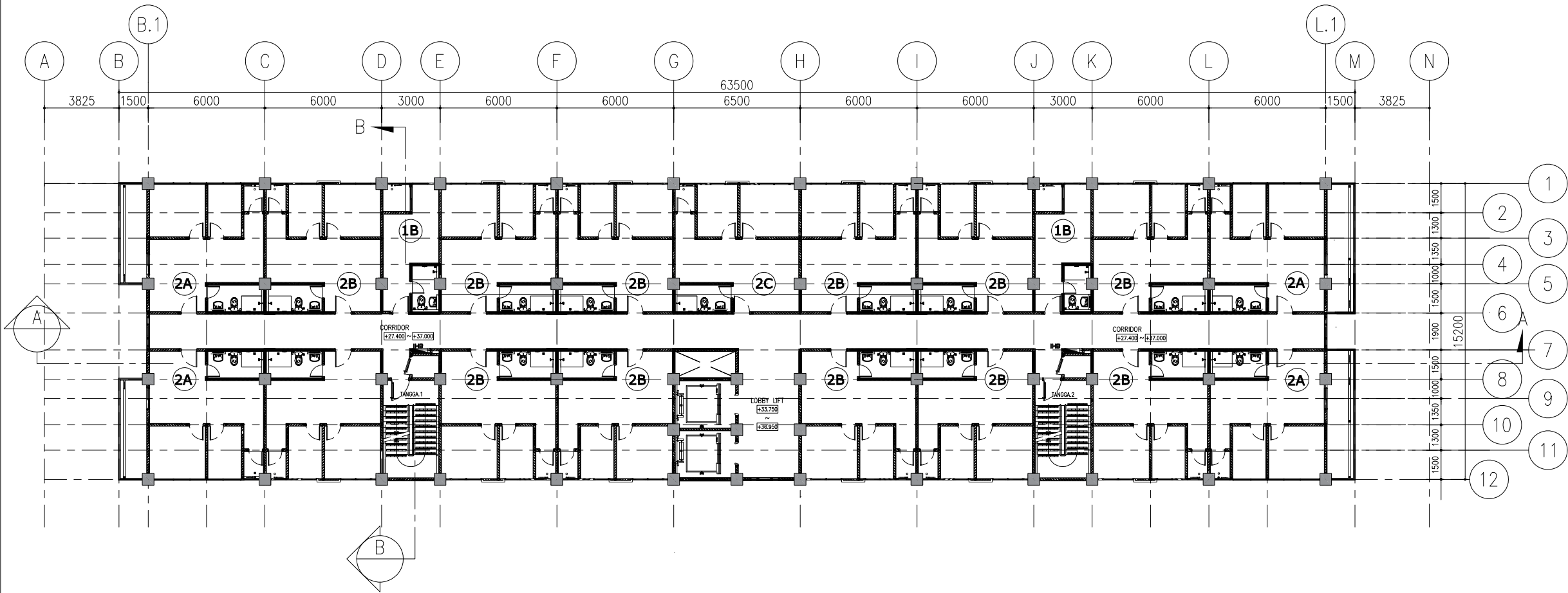
SKALA

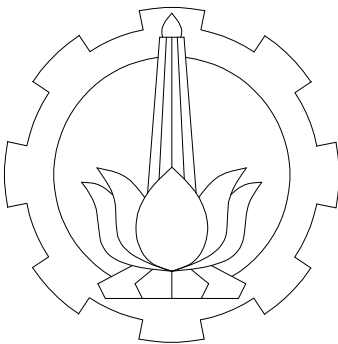
1 : 250

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan : Apartemen  
Lokasi : Bekasi  
Kondisi Tanah : Sedang  
Metode Perencanaan : SRPMK & Balok Pratekan  
Periode Gempa : 2500 tahun  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur fy : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser fy : 240 Mpa  
- Balok, Plat : 25 Mpa  
- Kolom : 35 Mpa  
- Balok Pratekan : 40 Mpa

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
ARS	06	33





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMAN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN  
LENTUR BALOK PRATEGANG DI  
DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI  
2847:2013 DAN ACI 318M-14 PADA  
STRUKTUR APARTEMEN ENVIRO  
BEKASI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001

Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

MAHASISWA

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

JUDUL GAMBAR

DENAH LANTAI 12a

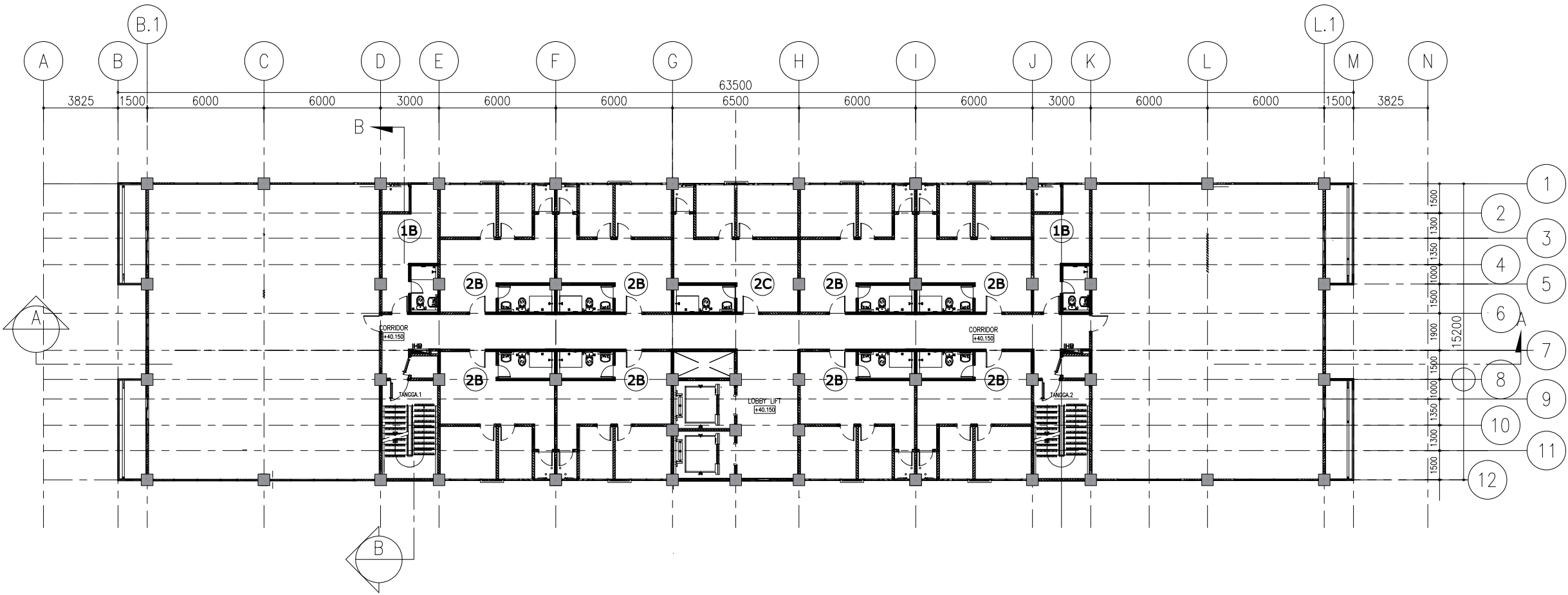
SKALA

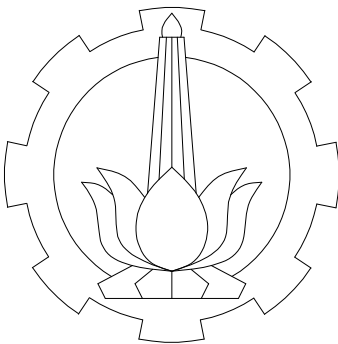
1 : 250

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan : Apartemen  
Lokasi : Bekasi  
Kondisi Tanah : Sedang  
Metode Perencanaan : SRPMK & Balok Pratekan  
Periode Gempa : 2500 tahun  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur fy : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser fy : 240 Mpa  
- Balok, Plat : 25 Mpa  
- Kolom : 35 Mpa  
- Balok Pratekan : 40 Mpa

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
ARS	07	33





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMAN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN  
LENTUR BALOK PRATEGANG DI  
DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI  
2847:2013 DAN ACI 318M-14 PADA  
STRUKTUR APARTEMEN ENVIRO  
BEKASI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001

Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

MAHASISWA

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

JUDUL GAMBAR

DENAH LANTAI ATAP

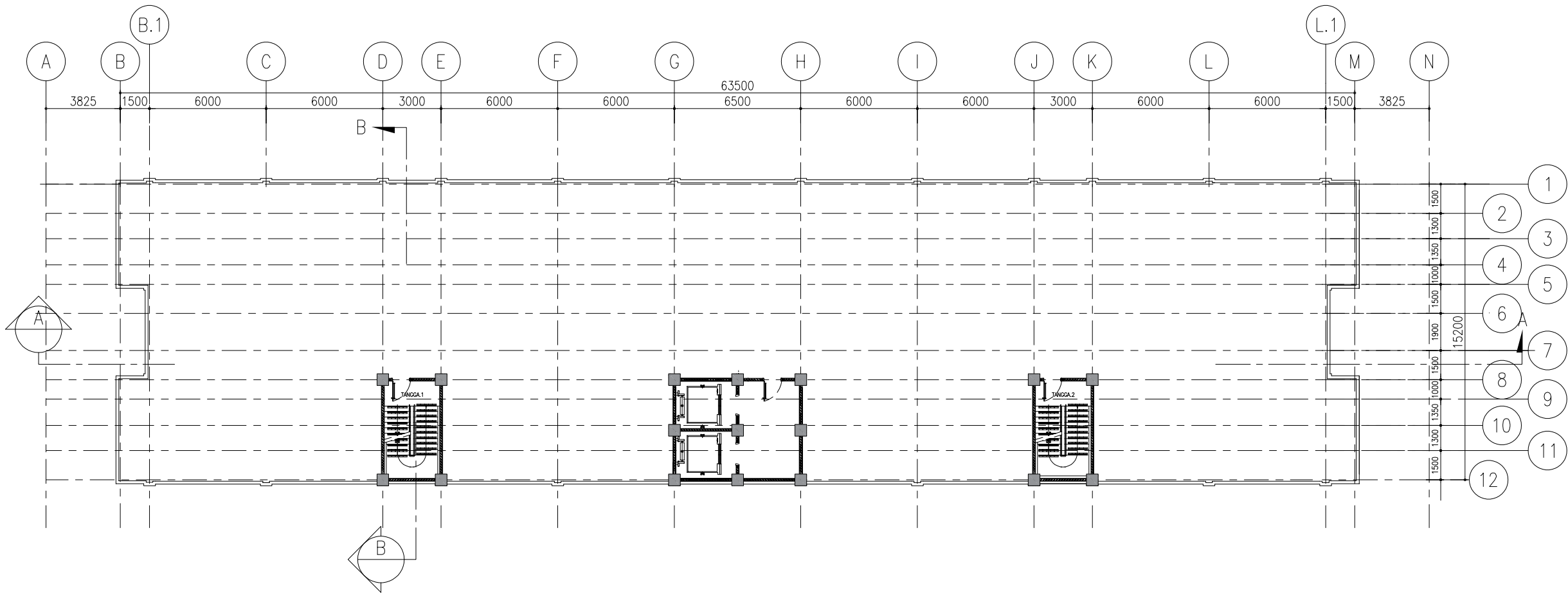
SKALA

1 : 250

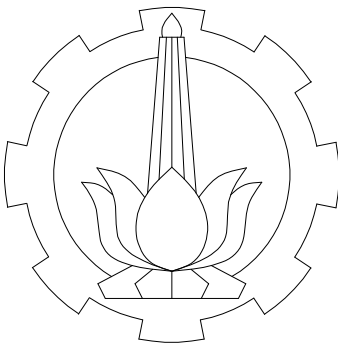
DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan : Apartemen  
Lokasi : Bekasi  
Kondisi Tanah : Sedang  
Metode Perencanaan : SRPMK & Balok Pratekan  
Periode Gempa : 2500 tahun  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur fy : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser fy : 240 Mpa  
- Balok, Plat : 25 Mpa  
- Kolom : 35 Mpa  
- Balok Pratekan : 40 Mpa

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
ARS	08	33







INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN KEBUMIHAN  
DEPARTEMAN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN LENTUR  
BALOK PRATEGANG DI DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013  
DAN ACI 318M-14 PADA STRUKTUR  
APARTEMEN ENVIRO BEKASI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001

Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

MAHASISWA

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

JUDUL GAMBAR

POTONGAN A-A

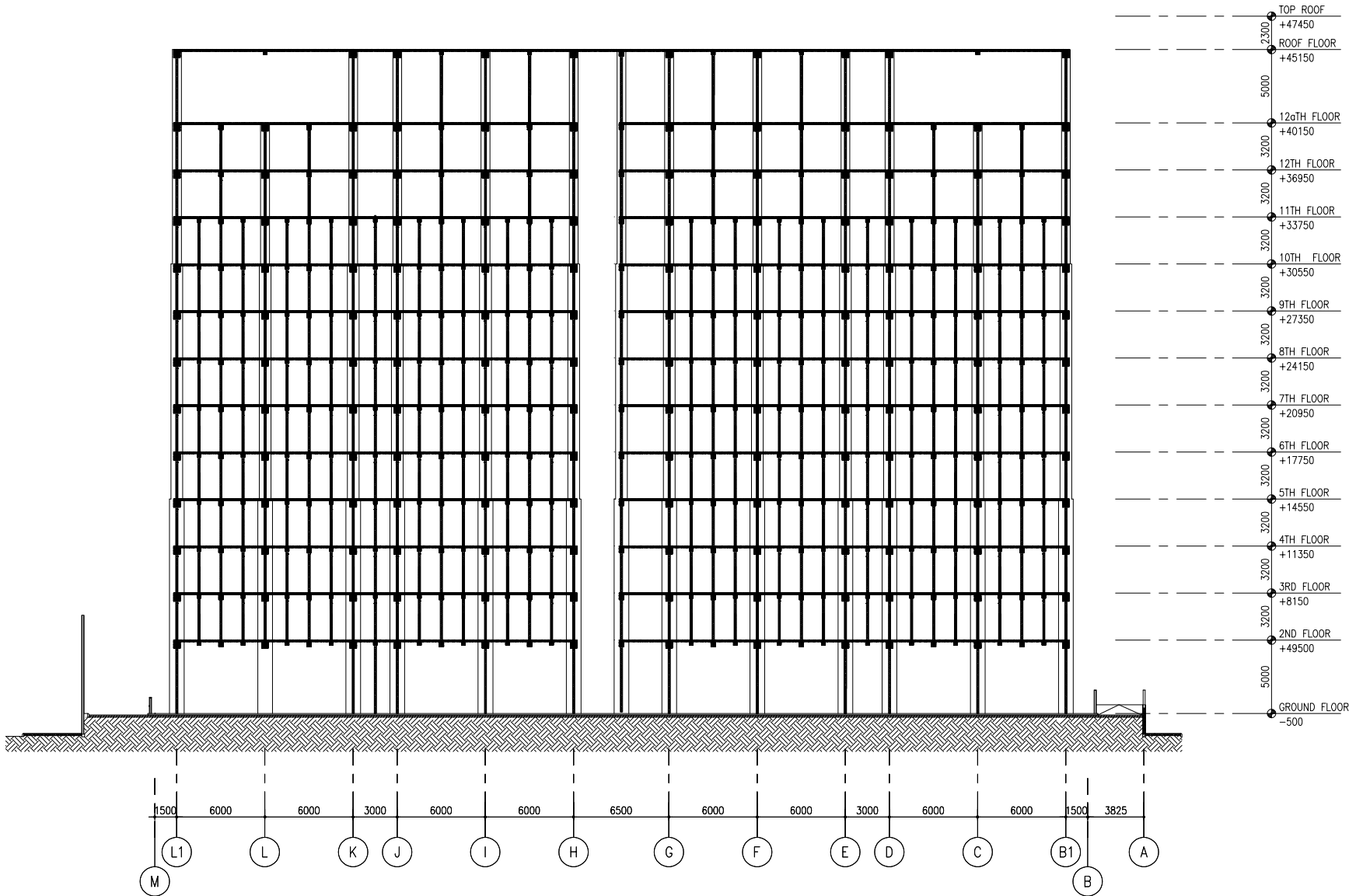
SKALA

1 : 250

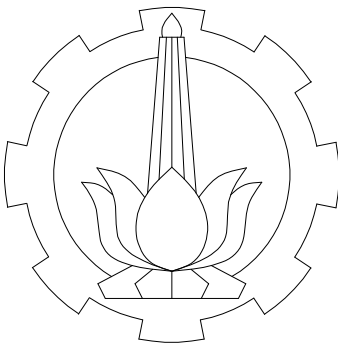
DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	: Apartemen
Lokasi	: Bekasi
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 25 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	01	33







INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN KEBUMIHAN  
DEPARTEMAN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN LENTUR  
BALOK PRATEGANG DI DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013  
DAN ACI 318M-14 PADA STRUKTUR  
APARTEMEN ENVIRO BEKASI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001

Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

MAHASISWA

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

JUDUL GAMBAR

POTONGAN B-B

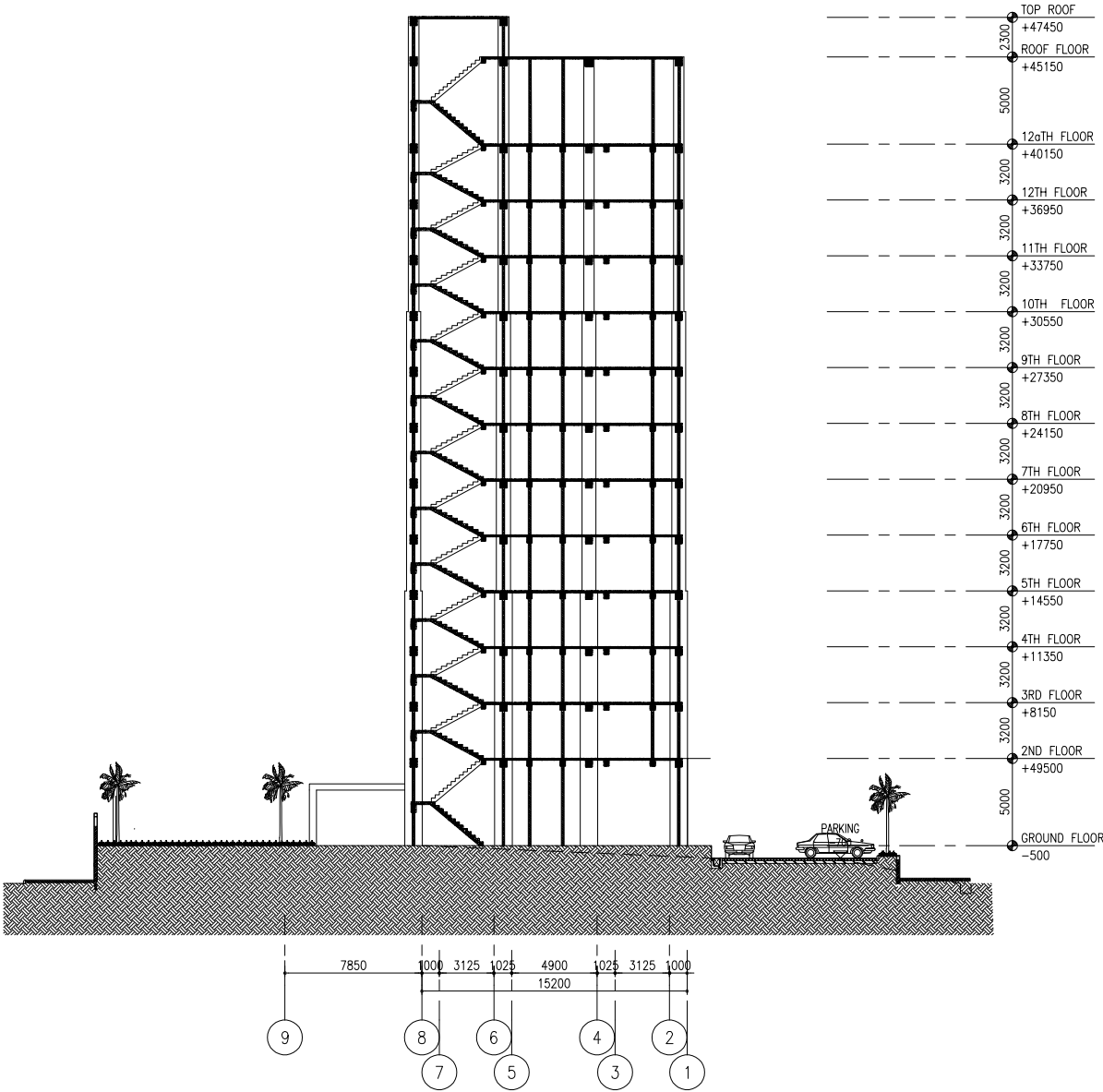
SKALA

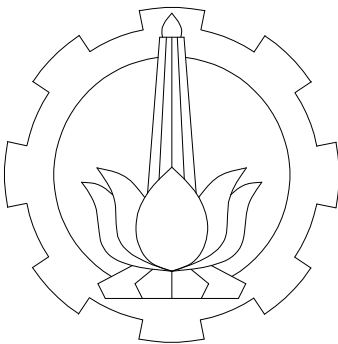
1 : 250

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	: Apartemen
Lokasi	: Bekasi
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 25 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	02	33





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN  
LENTUR BALOK PRATEGANG DI  
DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI  
2847:2013 DAN ACI 318M-14 PADA  
STRUKTUR APARTEMEN ENVIRO  
BEKASI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001

Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

MAHASISWA

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK DAN KOLOM  
LANTAI 2 - 5

SKALA

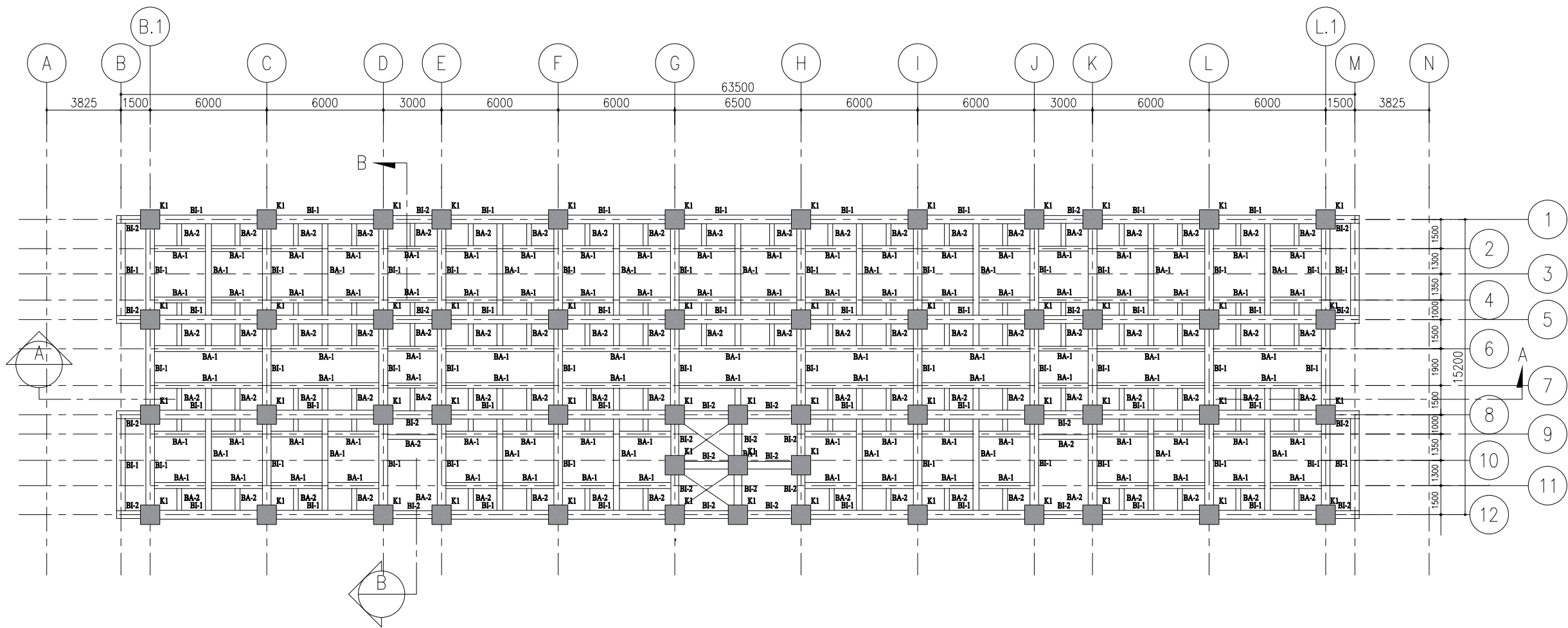
1 : 250

DATA PERENCANAAN

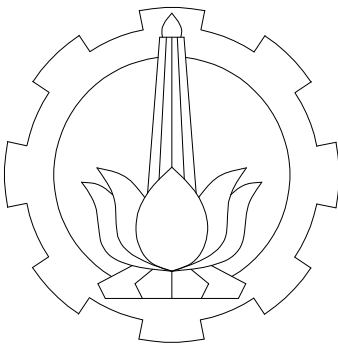
Fungsi Bangunan : Apartemen  
Lokasi : Bekasi  
Kondisi Tanah : Sedang  
Metode Perencanaan : SRPMK & Balok Pratekan  
Periode Gempa : 2500 tahun  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur fy : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser fy : 240 Mpa  
- Balok, Plat : 25 Mpa  
- Kolom : 35 Mpa  
- Balok Pratekan : 40 Mpa

KODE GBR NO GBR JML GBR

STR 03 33



TIPE	DIMENSI
K1	1000 x 1000
BI 1	450 x 550
BI 2	400 x 500
BA 1	300 x 450
BA 2	250 x 350



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMAN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN  
LENTUR BALOK PRATEGANG DI  
DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI  
2847:2013 DAN ACI 318M-14 PADA  
STRUKTUR APARTEMEN ENVIRO  
BEKASI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001

Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

MAHASISWA

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK DAN KOLOM  
LANTAI 6 - 10

SKALA

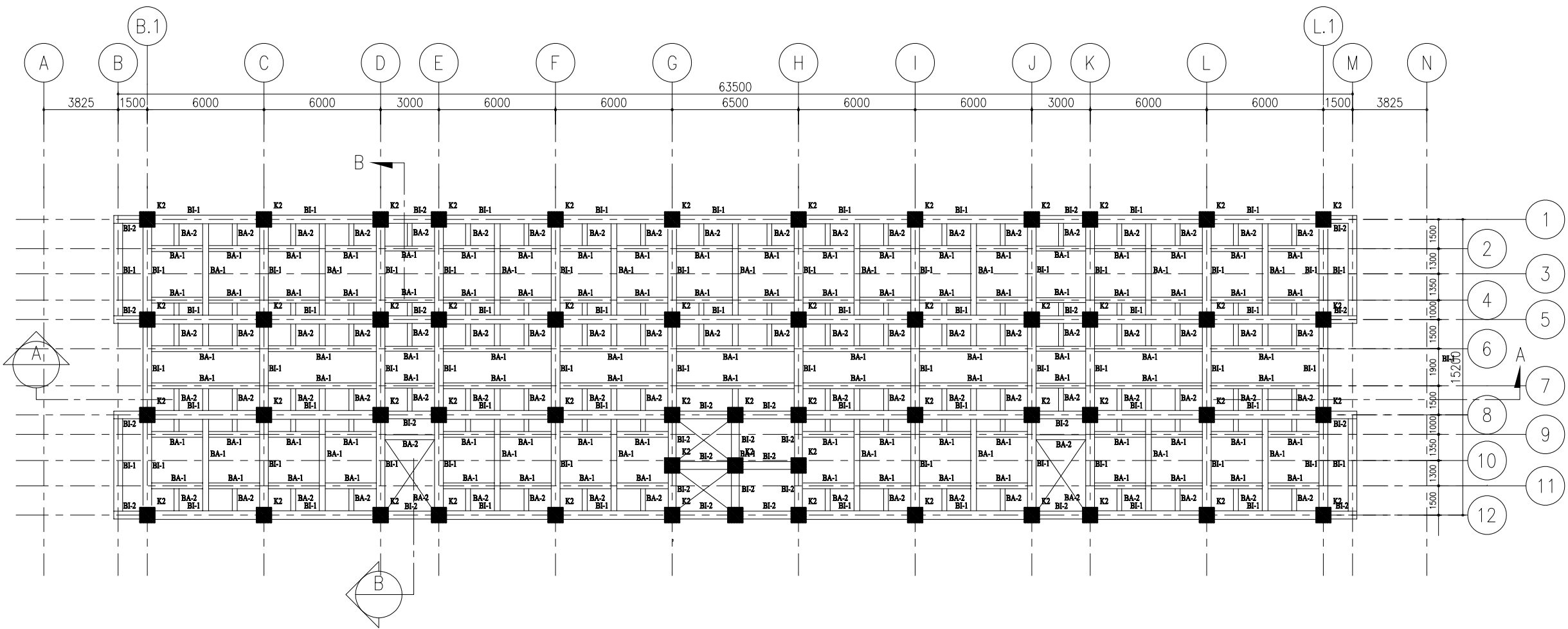
1 : 250

DATA PERENCANAAN

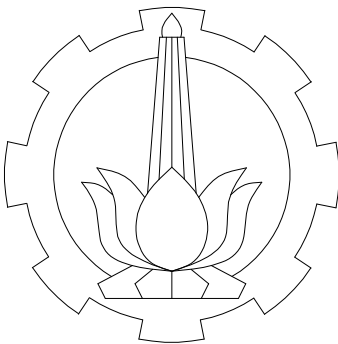
Fungsi Bangunan : Apartemen  
Lokasi : Bekasi  
Kondisi Tanah : Sedang  
Metode Perencanaan : SRPMK & Balok Pratekan  
Periode Gempa : 2500 tahun  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur fy : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser fy : 240 Mpa  
- Balok, Plat : 25 Mpa  
- Kolom : 35 Mpa  
- Balok Pratekan : 40 Mpa

KODE GBR NO GBR JML GBR

STR 04 33



TIPE	DIMENSI
K2	800 x 800
BI 1	450 x 550
BI 2	400 x 500
BA 1	300 x 450
BA 2	250 x 350



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN  
LENTUR BALOK PRATEGANG DI  
DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI  
2847:2013 DAN ACI 318M-14 PADA  
STRUKTUR APARTEMEN ENVIRO  
BEKASI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001

Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

MAHASISWA

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK DAN KOLOM  
LANTAI 11 - 12

SKALA

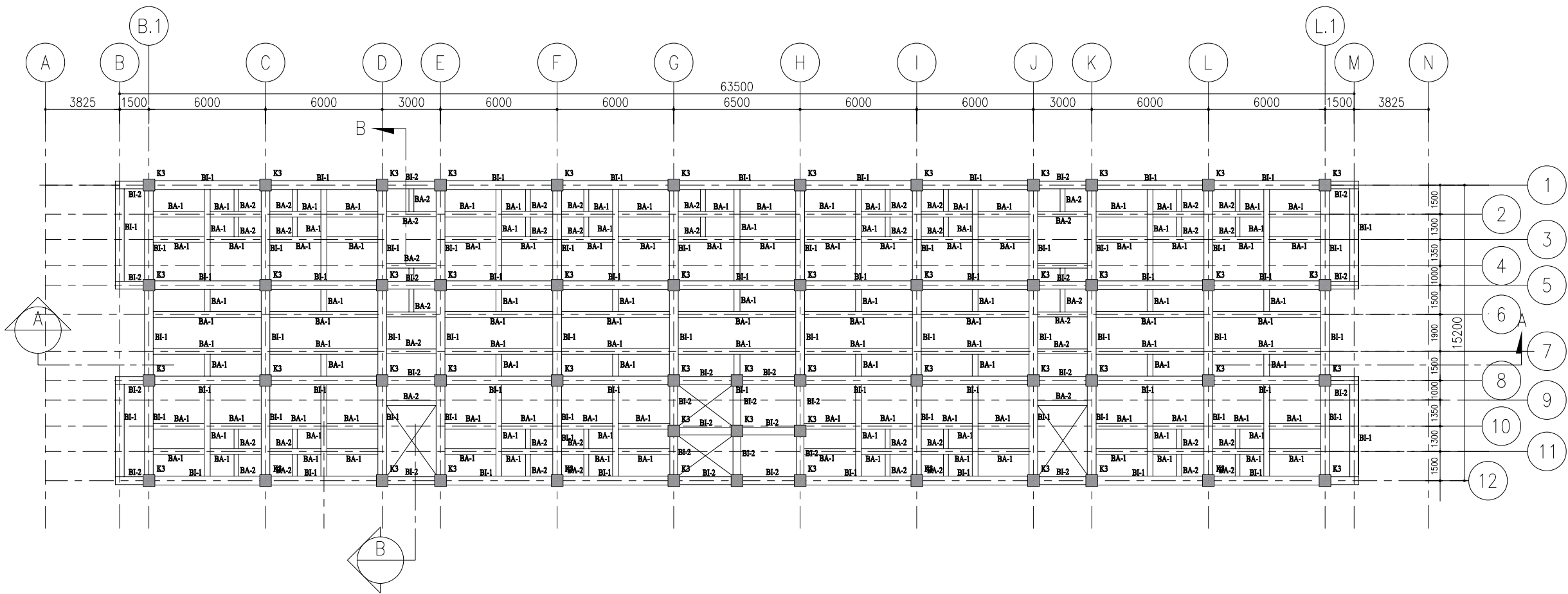
1 : 250

DATA PERENCANAAN

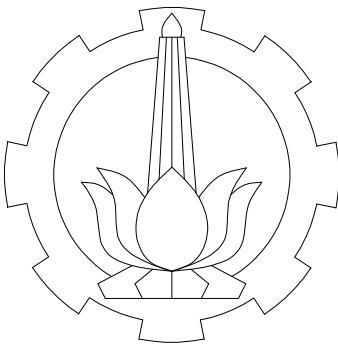
Fungsi Bangunan : Apartemen  
Lokasi : Bekasi  
Kondisi Tanah : Sedang  
Metode Perencanaan : SRPMK & Balok Pratekan  
Periode Gempa : 2500 tahun  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur fy : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser fy : 240 Mpa  
- Balok, Plat : 25 Mpa  
- Kolom : 35 Mpa  
- Balok Pratekan : 40 Mpa

KODE GBR NO GBR JML GBR

STR 05 33



TIPE	DIMENSI
K1	1000 x 1000
BI 1	450 x 550
BI 2	400 x 500
BA 1	300 x 450
BA 2	250 x 350



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMAN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN  
LENTUR BALOK PRATEGANG DI  
DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI  
2847:2013 DAN ACI 318M-14 PADA  
STRUKTUR APARTEMEN ENVIRO  
BEKASI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001

Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

MAHASISWA

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK DAN KOLOM  
LANTAI 12a

SKALA

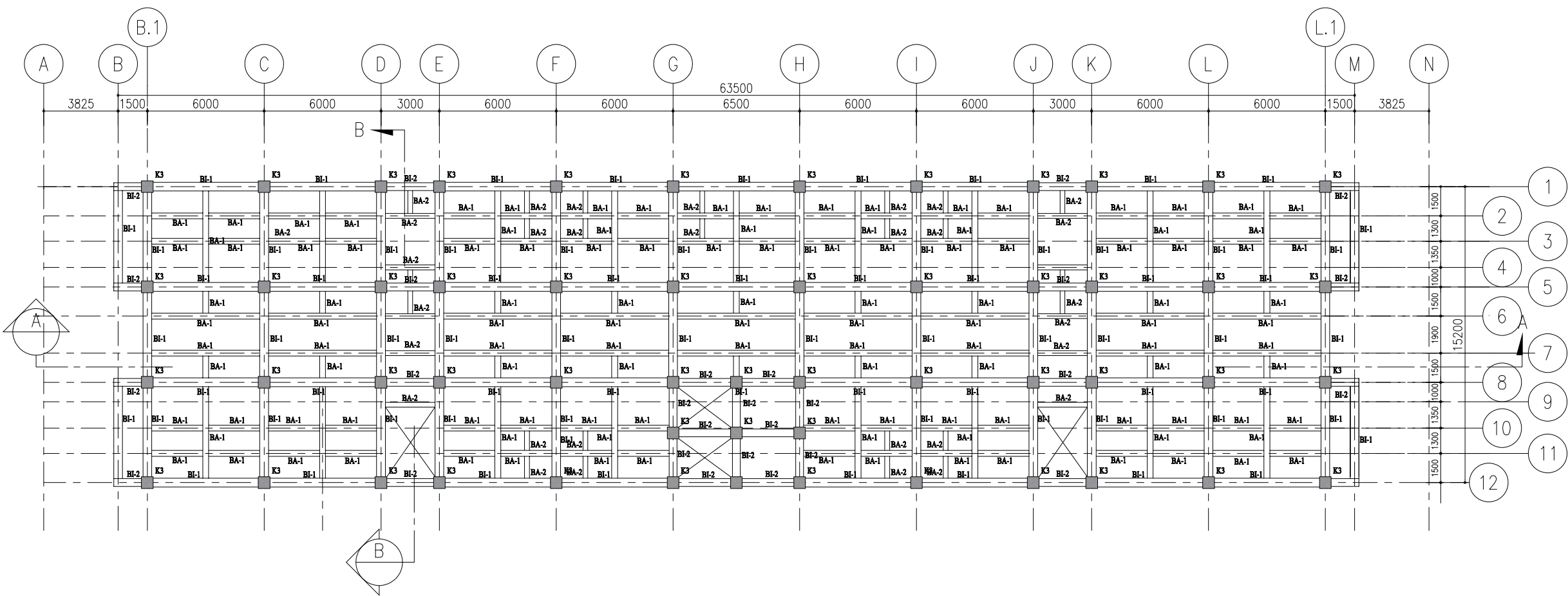
1 : 250

DATA PERENCANAAN

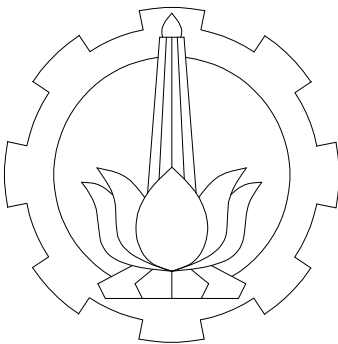
Fungsi Bangunan : Apartemen  
Lokasi : Bekasi  
Kondisi Tanah : Sedang  
Metode Perencanaan : SRPMK & Balok Pratekan  
Periode Gempa : 2500 tahun  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur fy : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser fy : 240 Mpa  
- Balok, Plat : 25 Mpa  
- Kolom : 35 Mpa  
- Balok Pratekan : 40 Mpa

KODE GBR NO GBR JML GBR

STR 06 33



TIPE	DIMENSI
K1	1000 x 1000
BI 1	450 x 550
BI 2	400 x 500
BA 1	300 x 450
BA 2	250 x 350



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN  
LENTUR BALOK PRATEGANG DI  
DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI  
2847:2013 DAN ACI 318M-14 PADA  
STRUKTUR APARTEMEN ENVIRO  
BEKASI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001

Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

MAHASISWA

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK DAN KOLOM  
LANTAI ATAP

SKALA

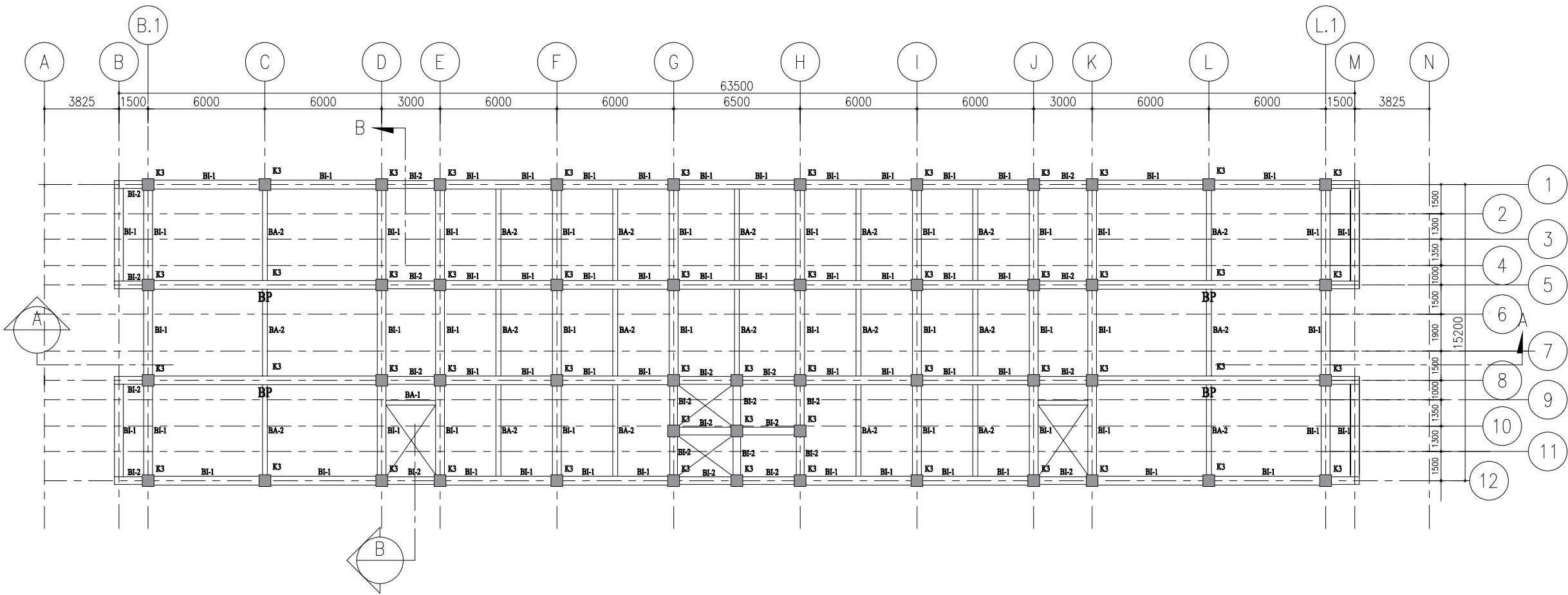
1 : 250

DATA PERENCANAAN

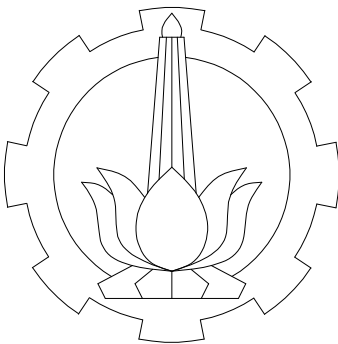
Fungsi Bangunan : Apartemen  
Lokasi : Bekasi  
Kondisi Tanah : Sedang  
Metode Perencanaan : SRPMK & Balok Pratekan  
Periode Gempa : 2500 tahun  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur fy : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser fy : 240 Mpa  
- Balok, Plat : 25 Mpa  
- Kolom : 35 Mpa  
- Balok Pratekan : 40 Mpa

KODE GBR NO GBR JML GBR

STR 07 33



TIPE	DIMENSI
K1	1000 x 1000
BI 1	450 x 550
BI 2	400 x 500
BA 1	300 x 450
BA 2	250 x 350



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN  
LENTUR BALOK PRATEGANG DI  
DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI  
2847:2013 DAN ACI 318M-14 PADA  
STRUKTUR APARTEMEN ENVIRO  
BEKASI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001

Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

MAHASISWA

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK DAN KOLOM  
LANTAI ROOFTOP

SKALA

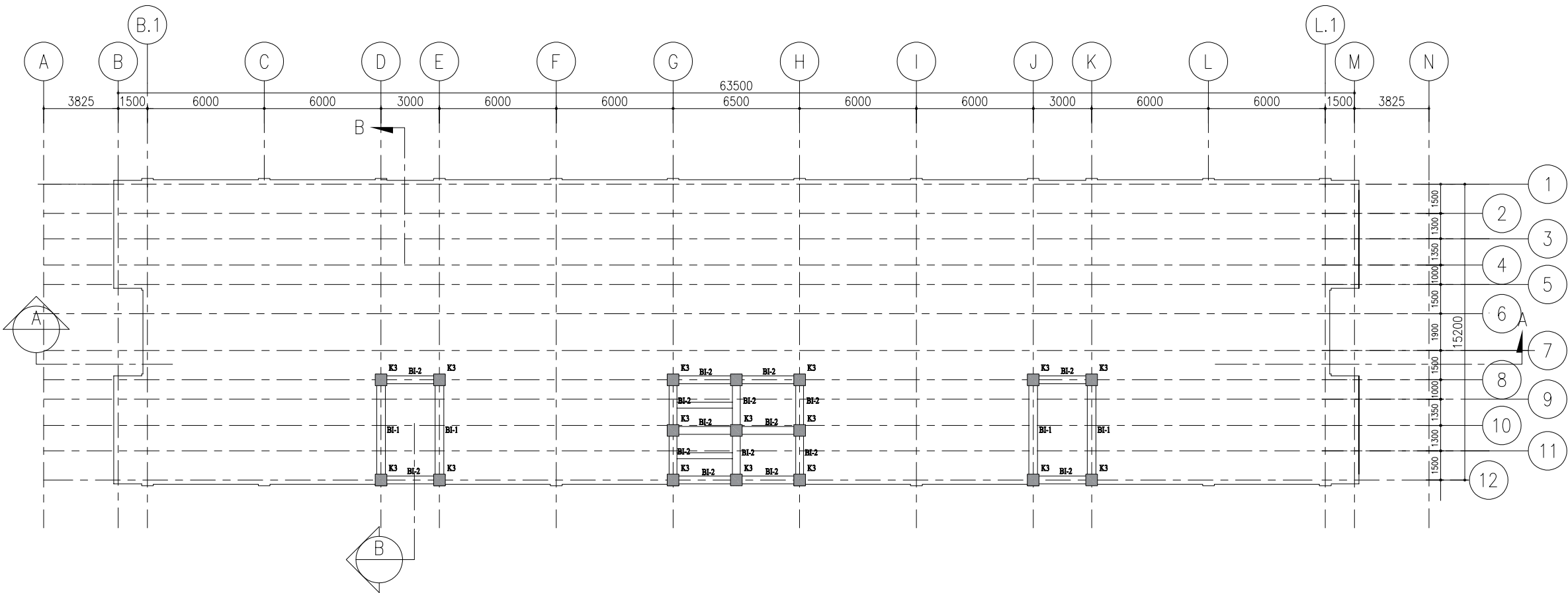
1 : 250

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan : Apartemen  
Lokasi : Bekasi  
Kondisi Tanah : Sedang  
Metode Perencanaan : SRPMK & Balok Pratekan  
Periode Gempa : 2500 tahun  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur fy : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser fy : 240 Mpa  
- Balok, Plat : 25 Mpa  
- Kolom : 35 Mpa  
- Balok Pratekan : 40 Mpa

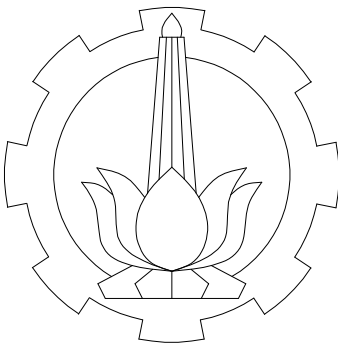
KODE GBR NO GBR JML GBR

STR 08 33



TIPE	DIMENSI
K1	1000 x 1000
BI 1	450 x 550
BI 2	400 x 500
BA 1	300 x 450
BA 2	250 x 350





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMAN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN  
LENTUR BALOK PRATEGANG DI  
DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI  
2847:2013 DAN ACI 318M-14 PADA  
STRUKTUR APARTEMEN ENVIRO  
BEKASI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001

Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

MAHASISWA

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

JUDUL GAMBAR

DENAH PENULANGAN PELAT  
LANTAI 2 - 5

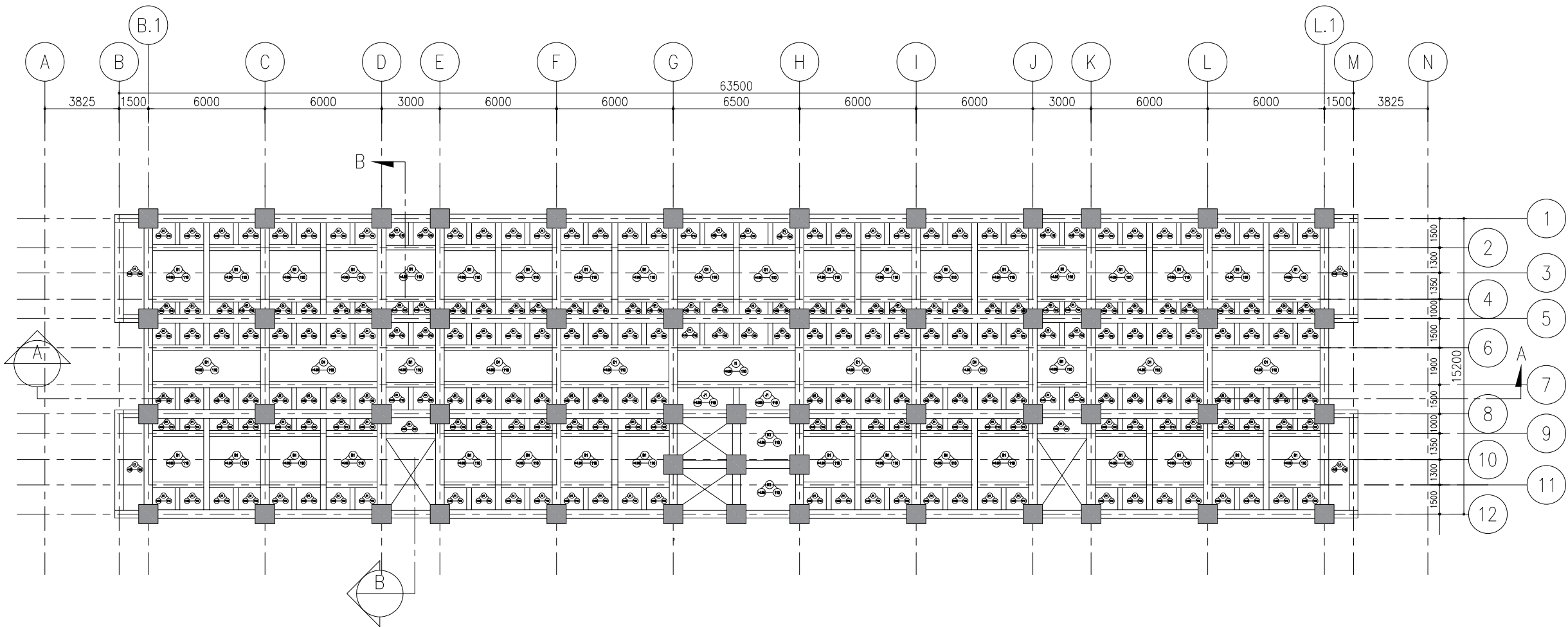
SKALA

1 : 250

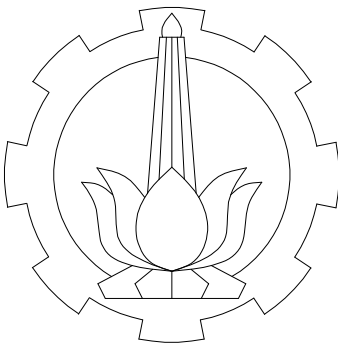
DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	: Apartemen
Lokasi	: Bekasi
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 25 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	09	33







INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMAN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN  
LENTUR BALOK PRATEGANG DI  
DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI  
2847:2013 DAN ACI 318M-14 PADA  
STRUKTUR APARTEMEN ENVIRO  
BEKASI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001

Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

MAHASISWA

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

JUDUL GAMBAR

DENAH PENULANGAN PELAT  
LANTAI 6 - 10

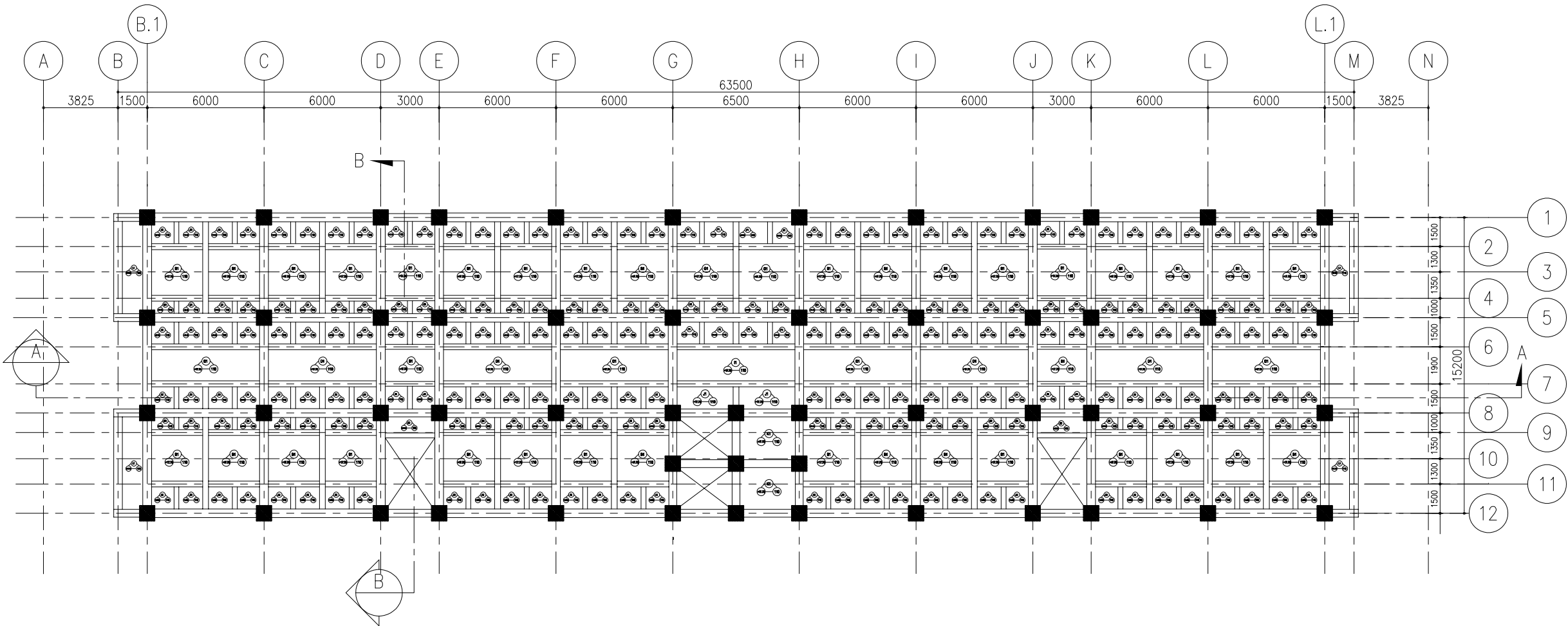
SKALA

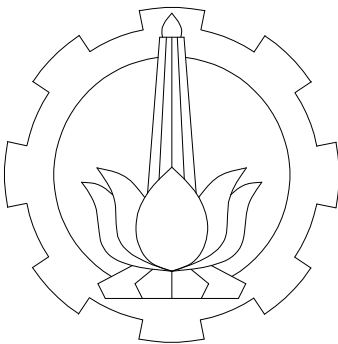
1 : 250

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan : Apartemen  
Lokasi : Bekasi  
Kondisi Tanah : Sedang  
Metode Perencanaan : SRPMK & Balok Pratekan  
Periode Gempa : 2500 tahun  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur fy : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser fy : 240 Mpa  
- Balok, Plat : 25 Mpa  
- Kolom : 35 Mpa  
- Balok Pratekan : 40 Mpa

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	10	33





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN  
LENTUR BALOK PRATEGANG DI  
DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI  
2847:2013 DAN ACI 318M-14 PADA  
STRUKTUR APARTEMEN ENVIRO  
BEKASI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001

Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

MAHASISWA

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

JUDUL GAMBAR

DENAH PENULANGAN PELAT  
LANTAI 11-12

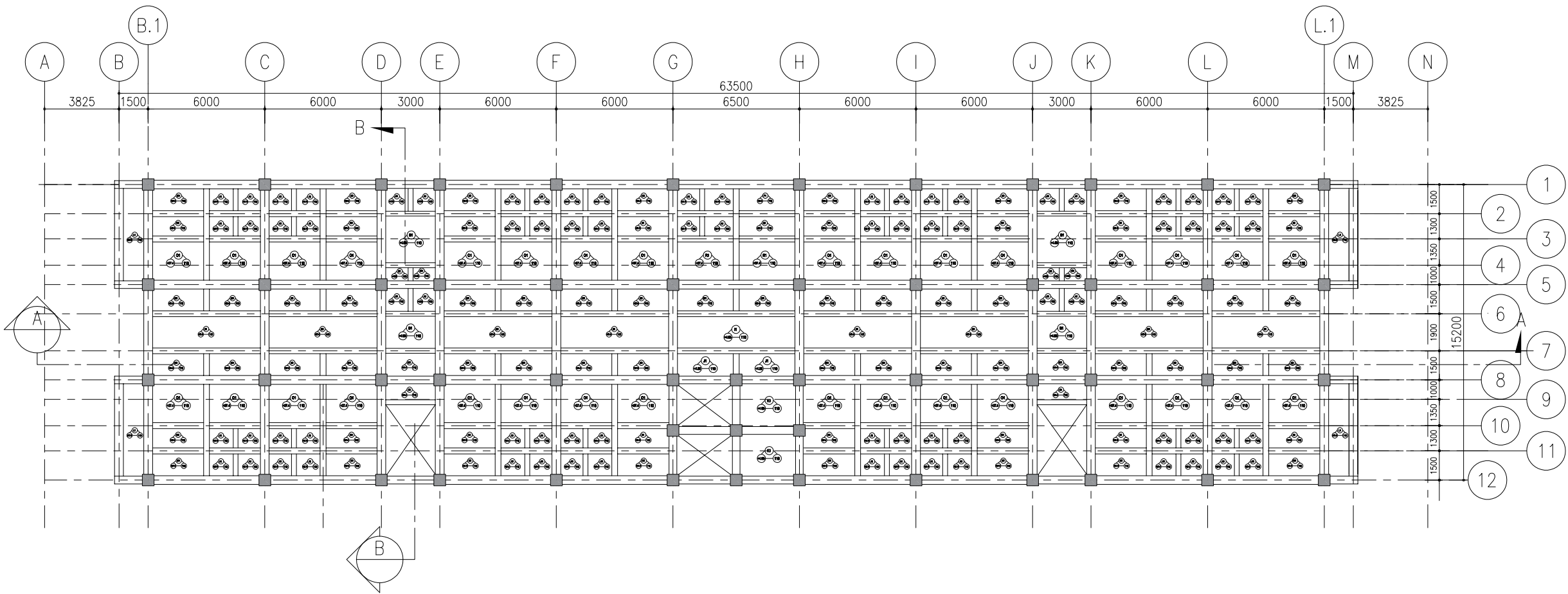
SKALA

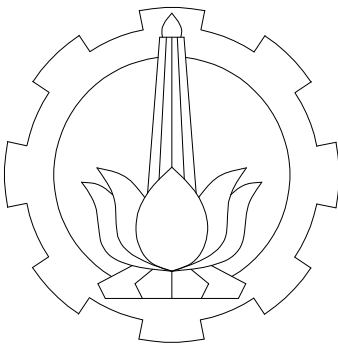
1 : 250

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan : Apartemen  
Lokasi : Bekasi  
Kondisi Tanah : Sedang  
Metode Perencanaan : SRPMK & Balok Pratekan  
Periode Gempa : 2500 tahun  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur fy : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser fy : 240 Mpa  
- Balok, Plat : 25 Mpa  
- Kolom : 35 Mpa  
- Balok Pratekan : 40 Mpa

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	11	33





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMAN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN  
LENTUR BALOK PRATEGANG DI  
DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI  
2847:2013 DAN ACI 318M-14 PADA  
STRUKTUR APARTEMEN ENVIRO  
BEKASI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001

Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

MAHASISWA

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

JUDUL GAMBAR

DENAH PENULANGAN PELAT  
LANTAI 12a

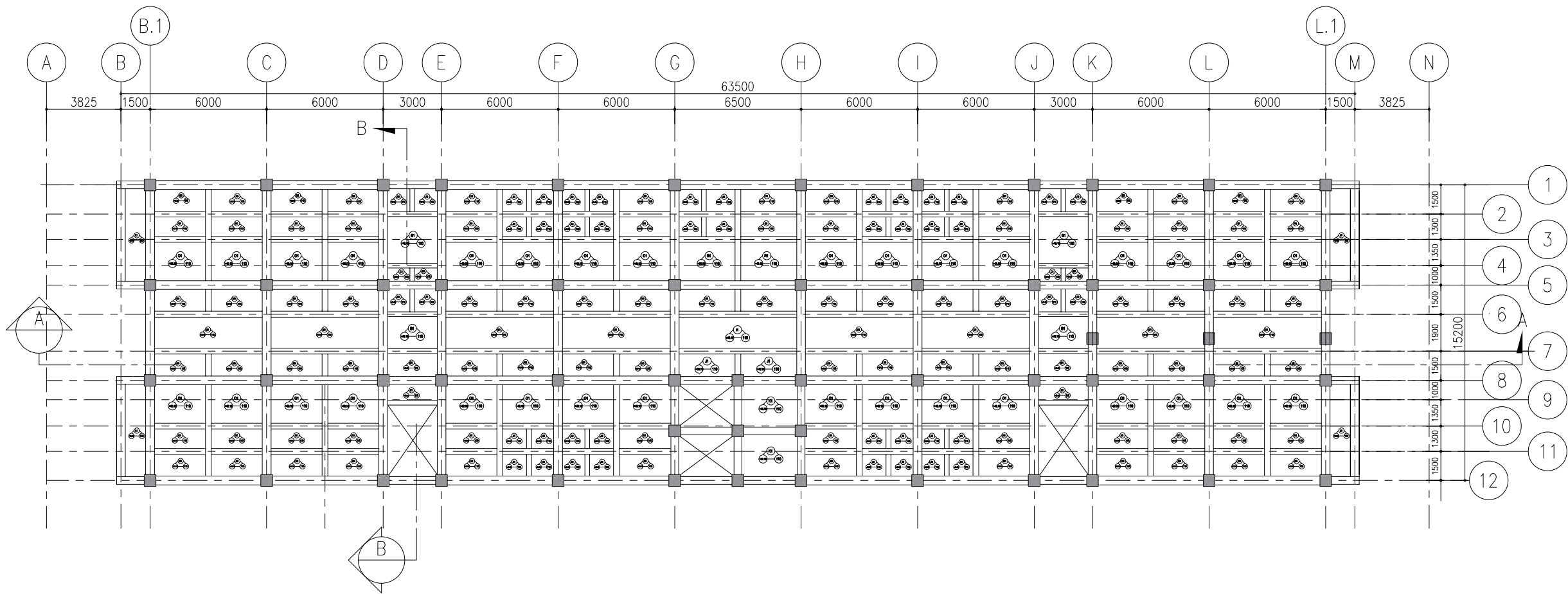
SKALA

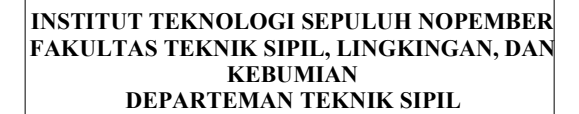
1 : 250

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	: Apartemen
Lokasi	: Bekasi
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 25 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	12	33





STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN  
LENTUR BALOK PRATEGANG DI  
DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI  
2847:2013 DAN ACI 318M-14 PADA  
STRUKTUR APARTEMEN ENVIRO  
BEKASI

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001

Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

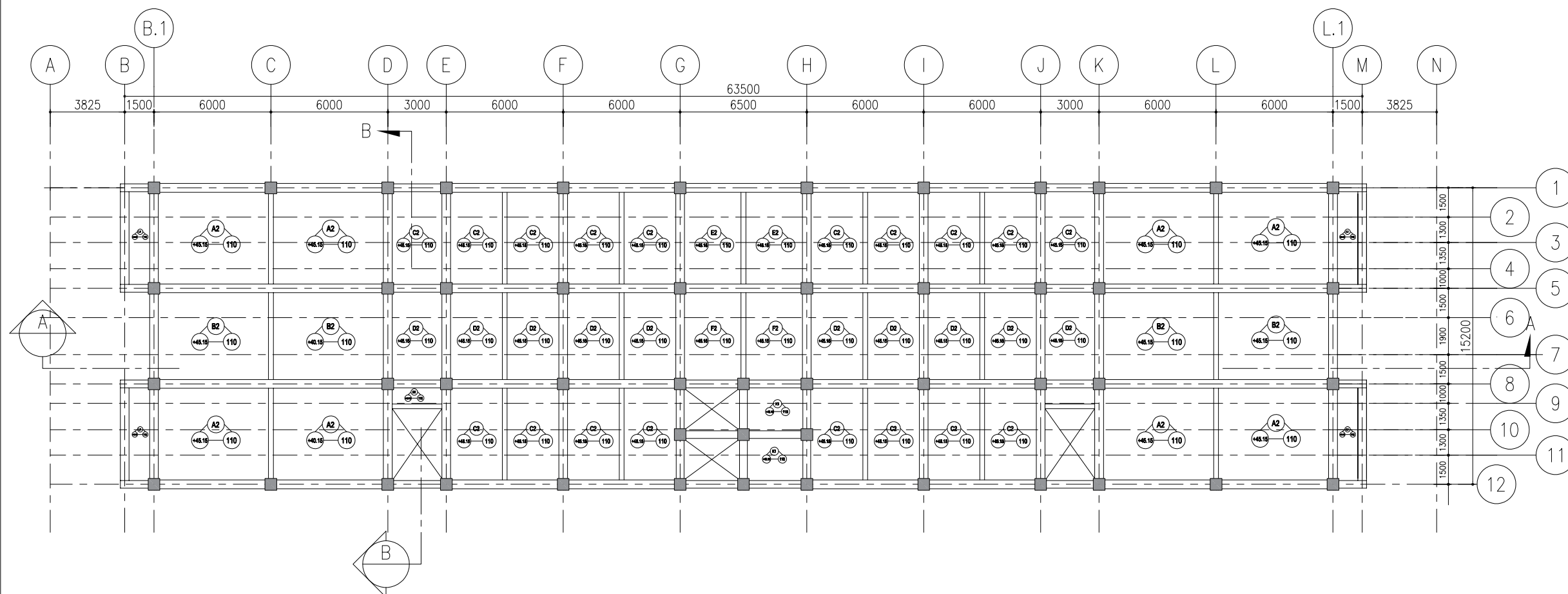
HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

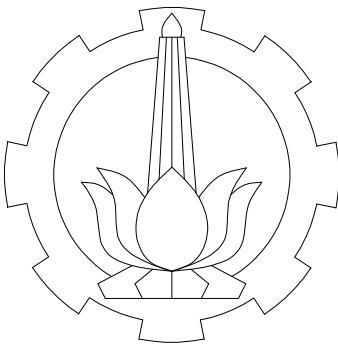
**DENAH PENULANGAN PELAT  
LANTAI ATAP**

1 : 250

Fungsi Bangunan	: Apartemen
Lokasi	: Bekasi
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 25 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	13	33





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN  
LENTUR BALOK PRATEGANG DI  
DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI  
2847:2013 DAN ACI 318M-14 PADA  
STRUKTUR APARTEMEN ENVIRO  
BEKASI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001

Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

MAHASISWA

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

JUDUL GAMBAR

DENAH PENULANGAN PELAT  
LANTAI ROOF TOP

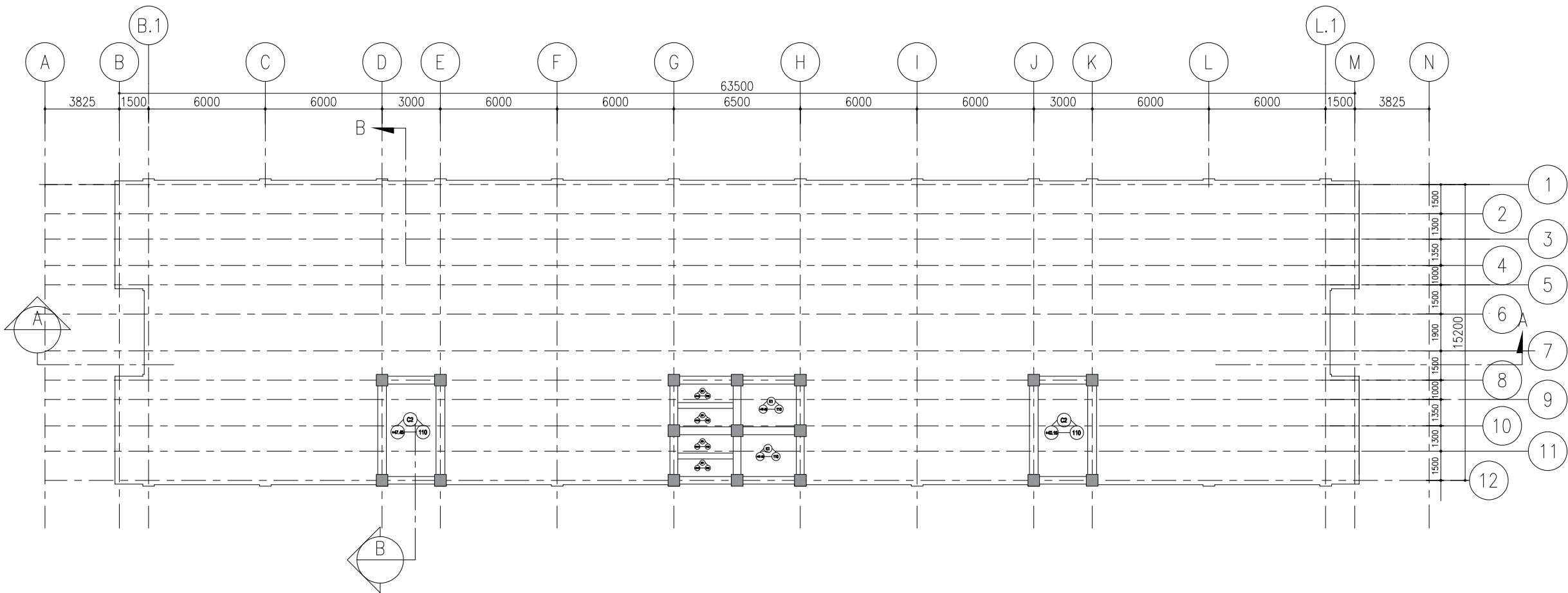
SKALA

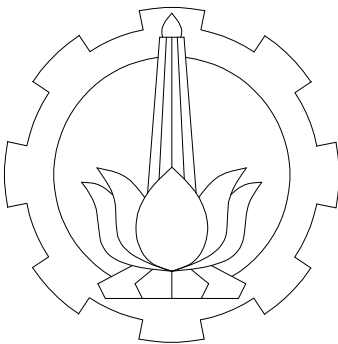
1 : 250

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan : Apartemen  
Lokasi : Bekasi  
Kondisi Tanah : Sedang  
Metode Perencanaan : SRPMK & Balok Pratekan  
Periode Gempa : 2500 tahun  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur fy : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser fy : 240 Mpa  
- Balok, Plat : 25 Mpa  
- Kolom : 35 Mpa  
- Balok Pratekan : 40 Mpa

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	14	33





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMAN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN  
LENTUR BALOK PRATEGANG DI  
DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI  
2847:2013 DAN ACI 318M-14 PADA  
STRUKTUR APARTEMEN ENVIRO  
BEKASI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001

Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

MAHASISWA

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN PELAT  
TIPE A2

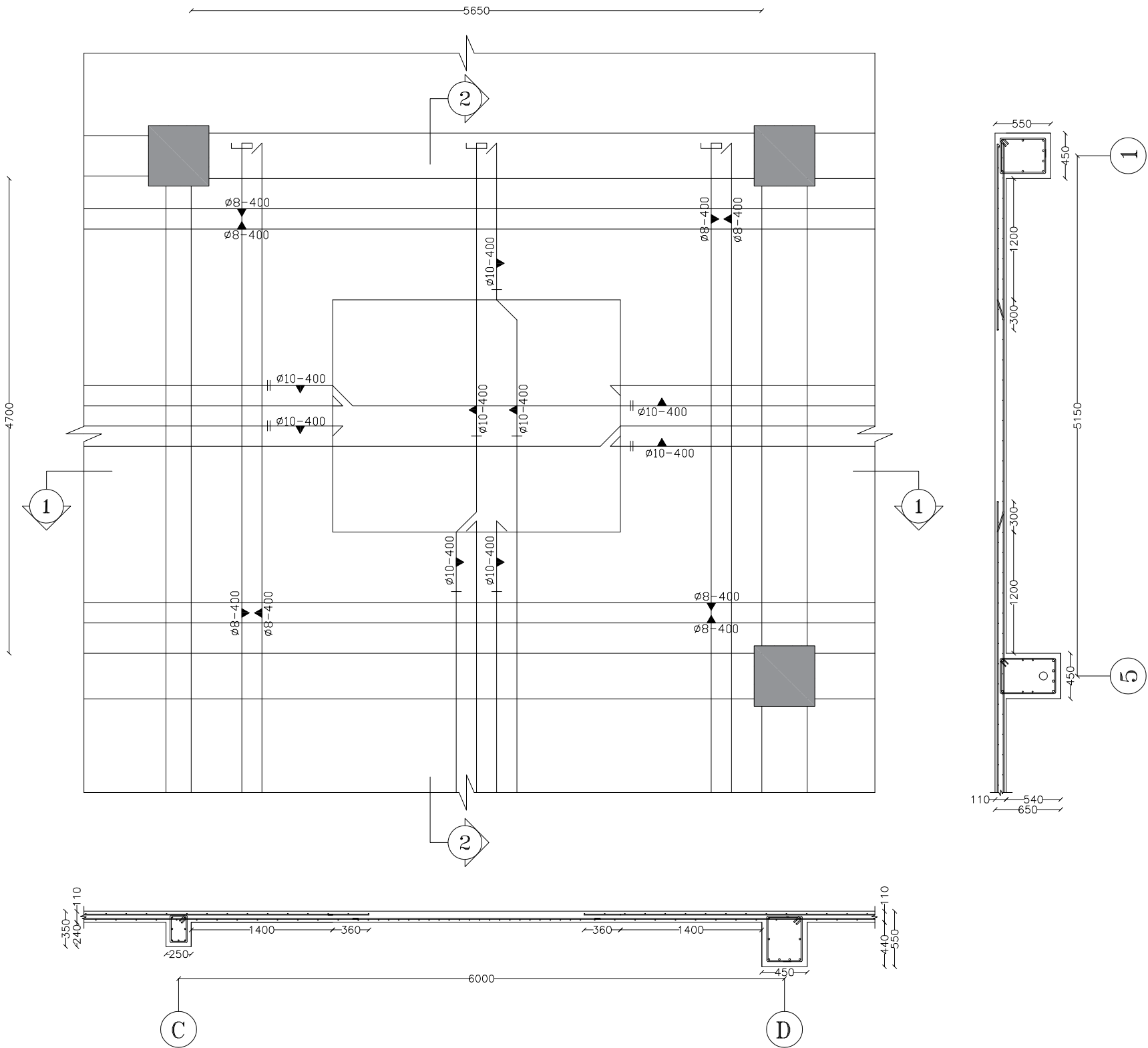
SKALA

1 : 50

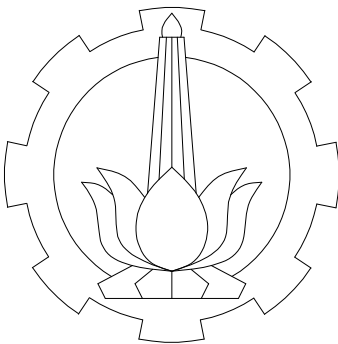
DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	: Apartemen
Lokasi	: Bekasi
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 25 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	15	33



DETAIL PELAT TIPE A2  
SKALA 1:50



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMAN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN  
LENTUR BALOK PRATEGANG DI  
DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI  
2847:2013 DAN ACI 318M-14 PADA  
STRUKTUR APARTEMEN ENVIRO  
BEKASI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001

Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

MAHASISWA

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN PELAT  
TIPE C2

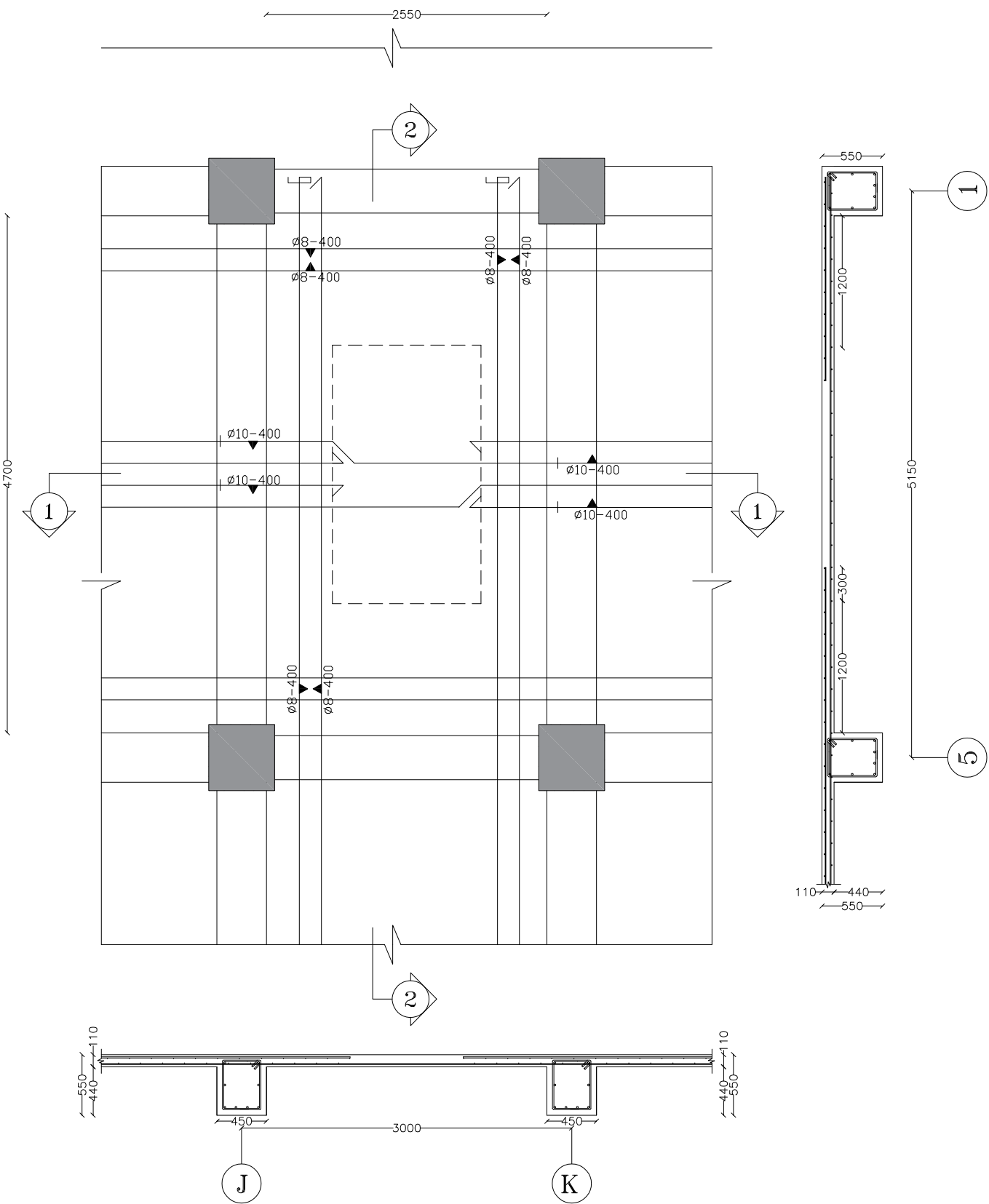
SKALA

1 : 50

DATA PERENCANAAN

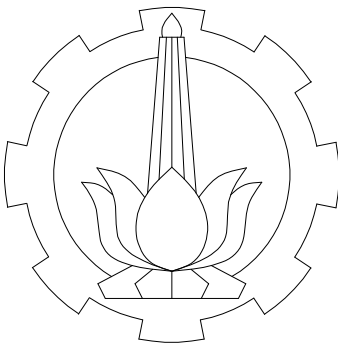
Fungsi Bangunan	: Apartemen
Lokasi	: Bekasi
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 25 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	16	33



DETAIL PELAT TIPE C2  
SKALA 1:50





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN LENTUR  
BALOK PRATEGANG DI DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013  
DAN ACI 318M-14 PADA STRUKTUR  
APARTEMEN ENVIRO BEKASI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001

Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

MAHASISWA

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

JUDUL GAMBAR

PENULANGAN TANGGA

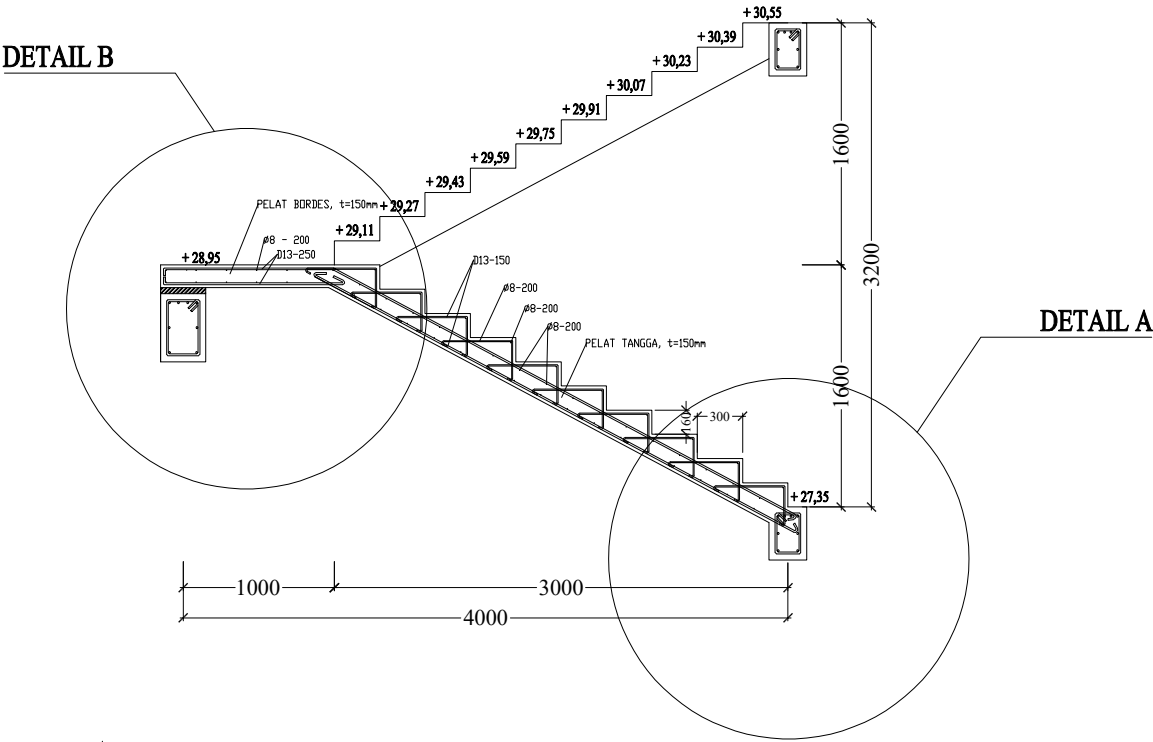
SKALA

1 : 50

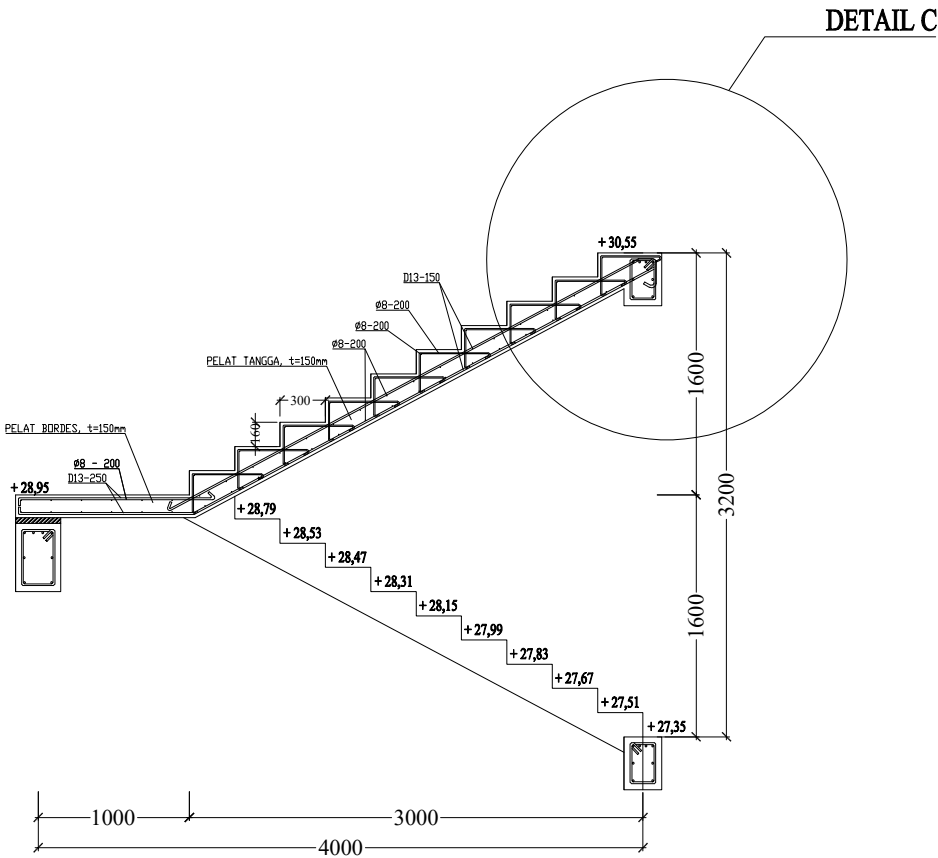
DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	: Apartemen
Lokasi	: Bekasi
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 25 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa

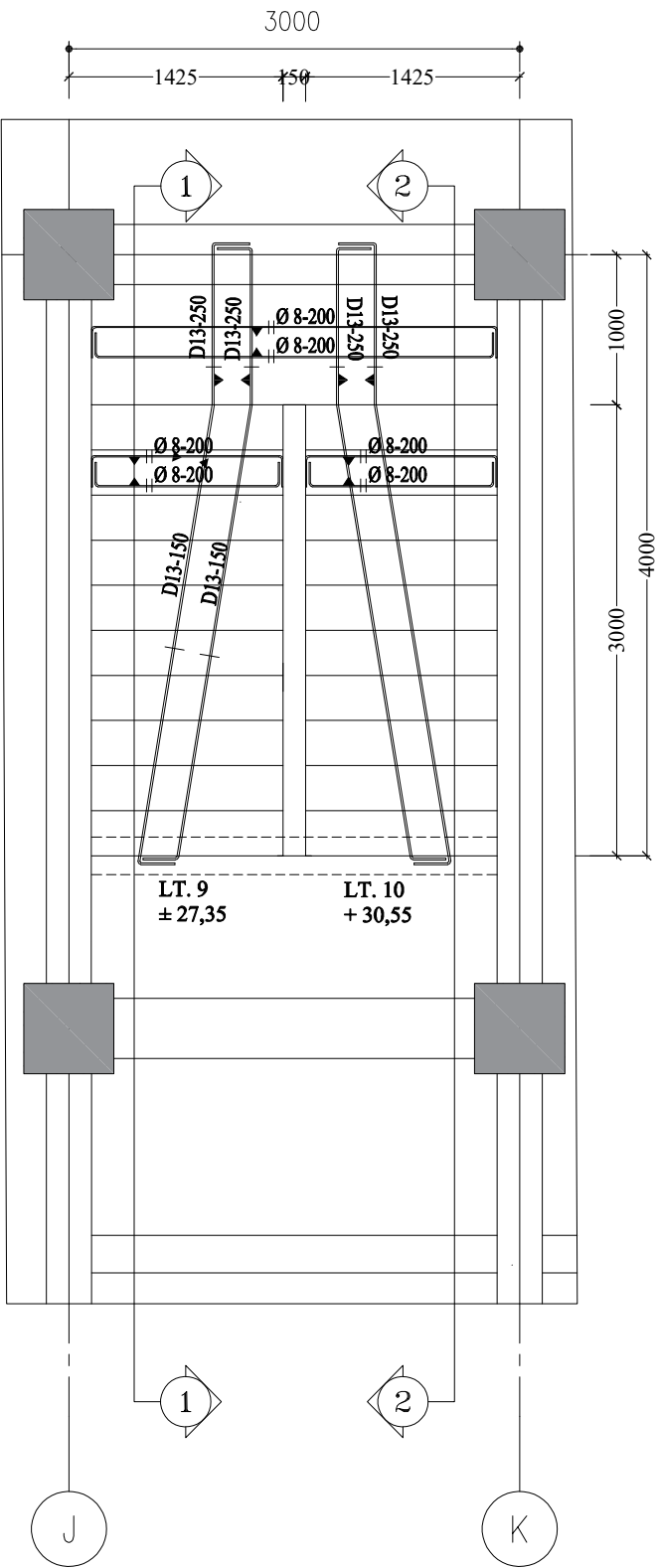
KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	17	33



POTONGAN 1-1 TANGGA TIPE 1  
Skala 1:50

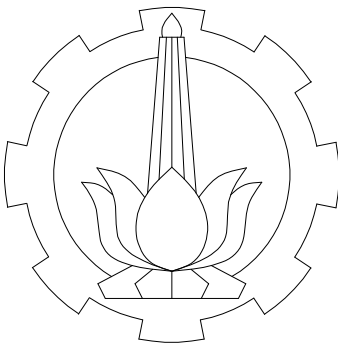


POTONGAN 2-2 TANGGA TIPE 1  
Skala 1:50



PENULANGAN TANGGA  
Skala 1:50





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN KEBUMIHAN  
DEPARTEMAN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN LENTUR  
BALOK PRATEGANG DI DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013  
DAN ACI 318M-14 PADA STRUKTUR  
APARTEMEN ENVIRO BEKASI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001

Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

MAHASISWA

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN TANGGA

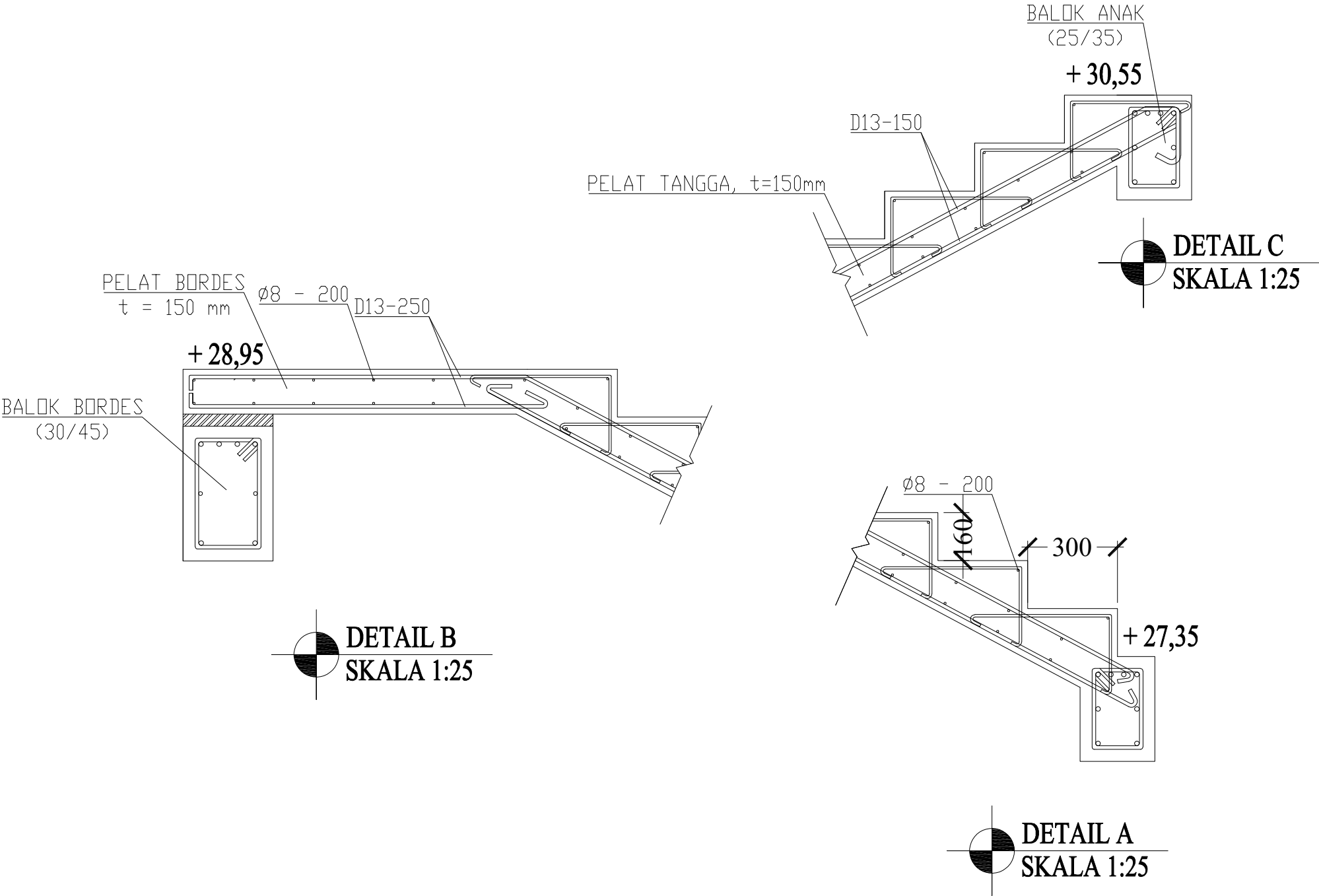
SKALA

1 : 25

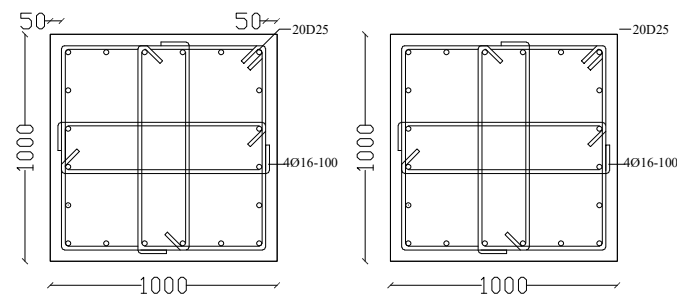
DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	: Apartemen
Lokasi	: Bekasi
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 25 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	18	33



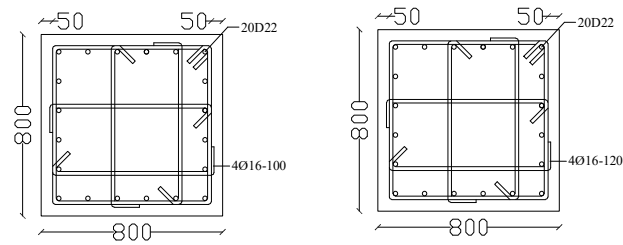




**POT. 1-1**

**POT. 2-2**

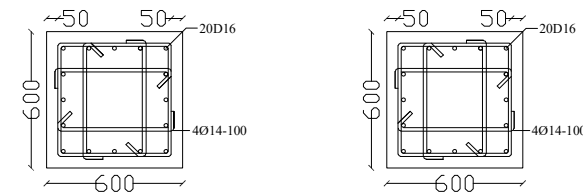
**KOLOM K1**  
SKALA 1:30



**POT. 1-1**

**POT. 2-2**

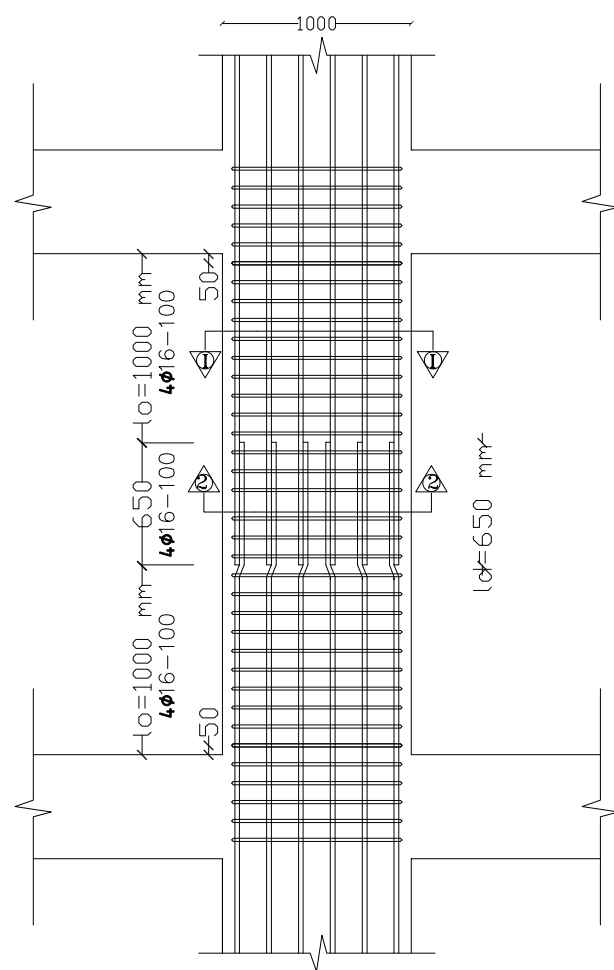
**KOLOM K2**  
SKALA 1:30



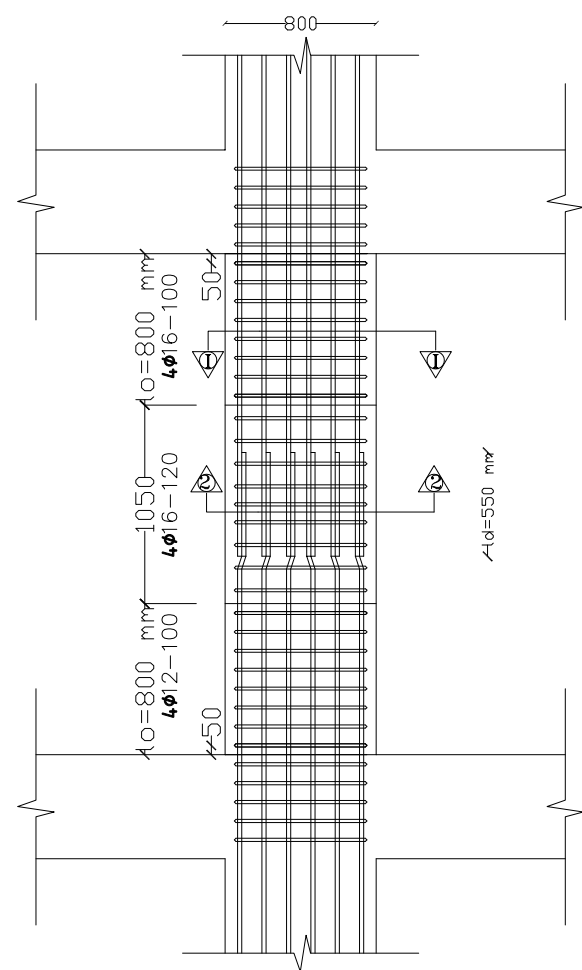
**POT. 1-1**

**POT. 2-2**

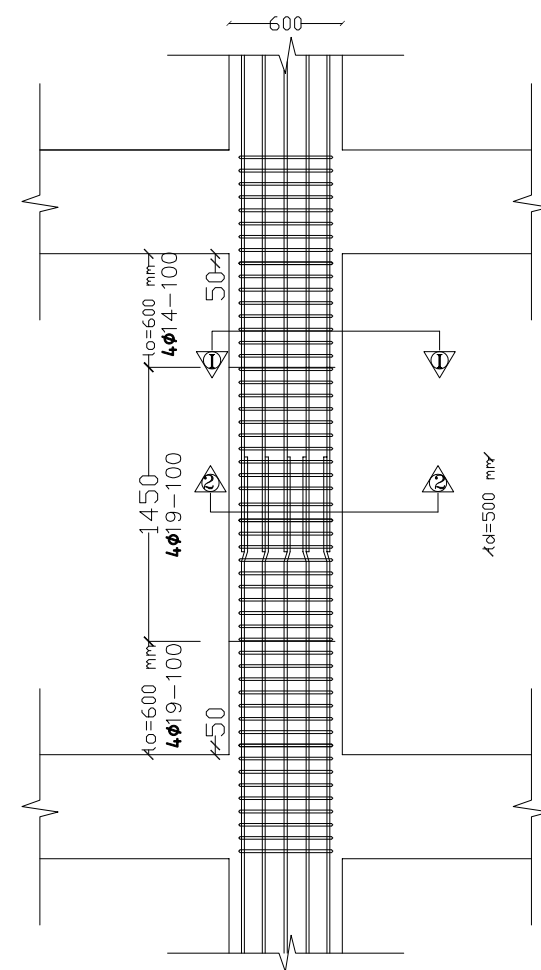
**KOLOM K3**  
SKALA 1:30



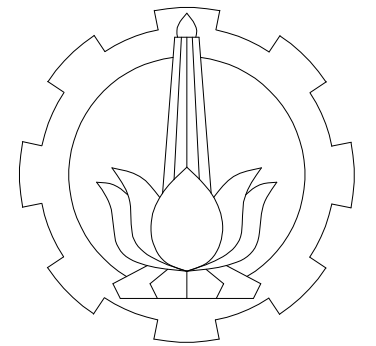
**DETAIL PENULANGAN KOLOM K1**  
SKALA 1:40



**DETAIL PENULANGAN KOLOM K2**  
SKALA 1:40



**DETAIL PENULANGAN KOLOM K3**  
SKALA 1:40



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMAN TEKNIK SIPIL

### JUDUL TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN  
LENTUR BALOK PRATEGANG DI  
DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI  
2847:2013 DAN ACI 318M-14 PADA  
STRUKTUR APARTEMEN ENVIRO  
BEKASI

### DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001

Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

### MAHASISWA

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

### JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN KOLOM

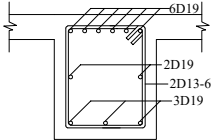
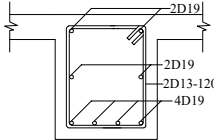
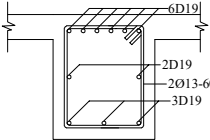
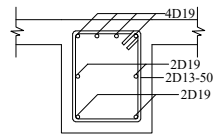
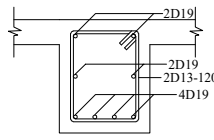
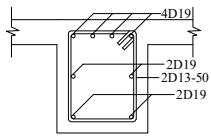
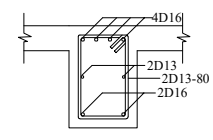
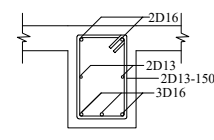
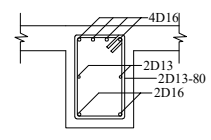
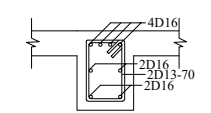
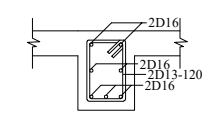
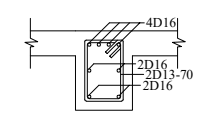
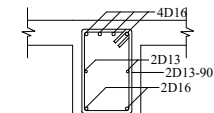
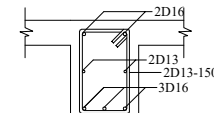
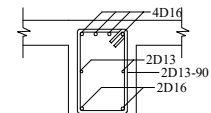
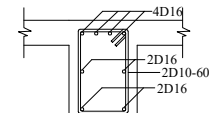
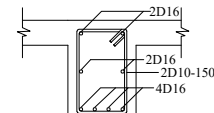
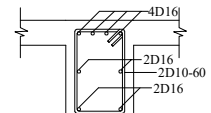
### SKALA

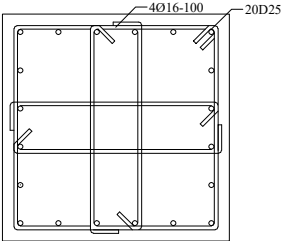
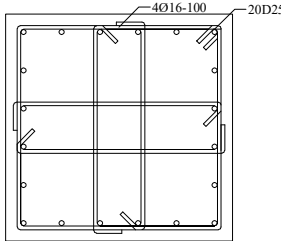
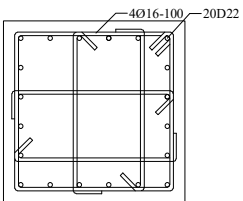
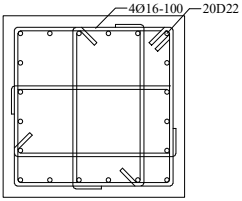
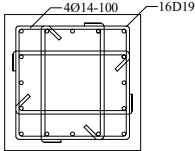
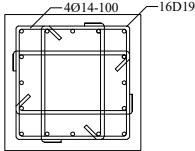
1 : 40

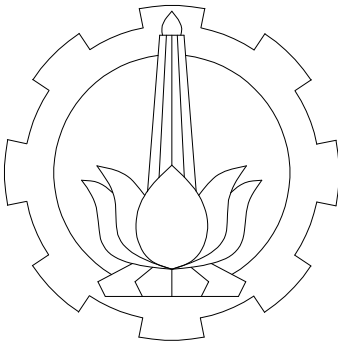
### DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	: Apartemen
Lokasi	: Bekasi
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 25 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	20	33

PENULANGAN BALOK	BALOK INDUK 1 (BI1) 45/55			BALOK INDUK 2 (BI2) 40/50			BALOK ANAK 1 (BA1) 30/45		
	TUMPUAN 1	LAPANGAN	TUMPUAN 2	TUMPUAN 1	LAPANGAN	TUMPUAN 2	TUMPUAN 1	LAPANGAN	TUMPUAN 2
									
TUL. ATAS	6D19	2D19	6D19	4D19	2D19	4D19	4D16	2D16	4D16
TUL. BAWAH	3D19	4D19	3D19	2D19	4D19	2D19	2D16	3D16	2D16
TUL. TORSI	2D19	2D19	2D19	2D19	2D19	2D19	2D13	2D13	2D13
TUL. SENGKANG	2D13-60	2D13-125	2D13-60	2D13-50	2D13-125	2D13-50	2D13-80	2D13-150	2D13-80
PENULANGAN BALOK	BALOK ANAK 2 (BA2) 25/35			BALOK BORDES (BD) 30/45			BALOK LIFT (BL) 30/45		
	TUMPUAN 1	LAPANGAN	TUMPUAN 2	TUMPUAN 1	LAPANGAN	TUMPUAN 2	TUMPUAN 1	LAPANGAN	TUMPUAN 2
									
TUL. ATAS	4D16	2D16	5D16	4D16	2D16	4D16	4D16	2D16	4D16
TUL. BAWAH	2D16	3D16	3D16	2D16	3D16	2D16	2D16	4D16	2D16
TUL. TORSI	2D13	2D13	2D13	2D13	2D13	2D13	2D16	2D16	2D16
TUL. SENGKANG	2D13-70	2D13-120	2D12-70	2D13-90	2D13-150	2D13-90	2D10-60	2D10-150	2D10-60

PENULANGAN KOLOM	KOLOM 1 (K1) 100/100		KOLOM 2 (K2) 80/80		KOLOM 3 (K3) 60/60	
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
						
TUL. LENTUR	20D25	20D25	20D22	20D22	16D19	16D19
TUL. SENGKANG	4Ø16-100	4Ø16-100	4Ø16-100	4Ø16-120	4Ø14-100	4Ø14-100



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMAN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN  
LENTUR BALOK PRATEGANG DI  
DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI  
2847:2013 DAN ACI 318M-14 PADA  
STRUKTUR APARTEMEN ENVIRO  
BEKASI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001  
  
Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

MAHASISWA

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN BALOK DAN  
KOLOM

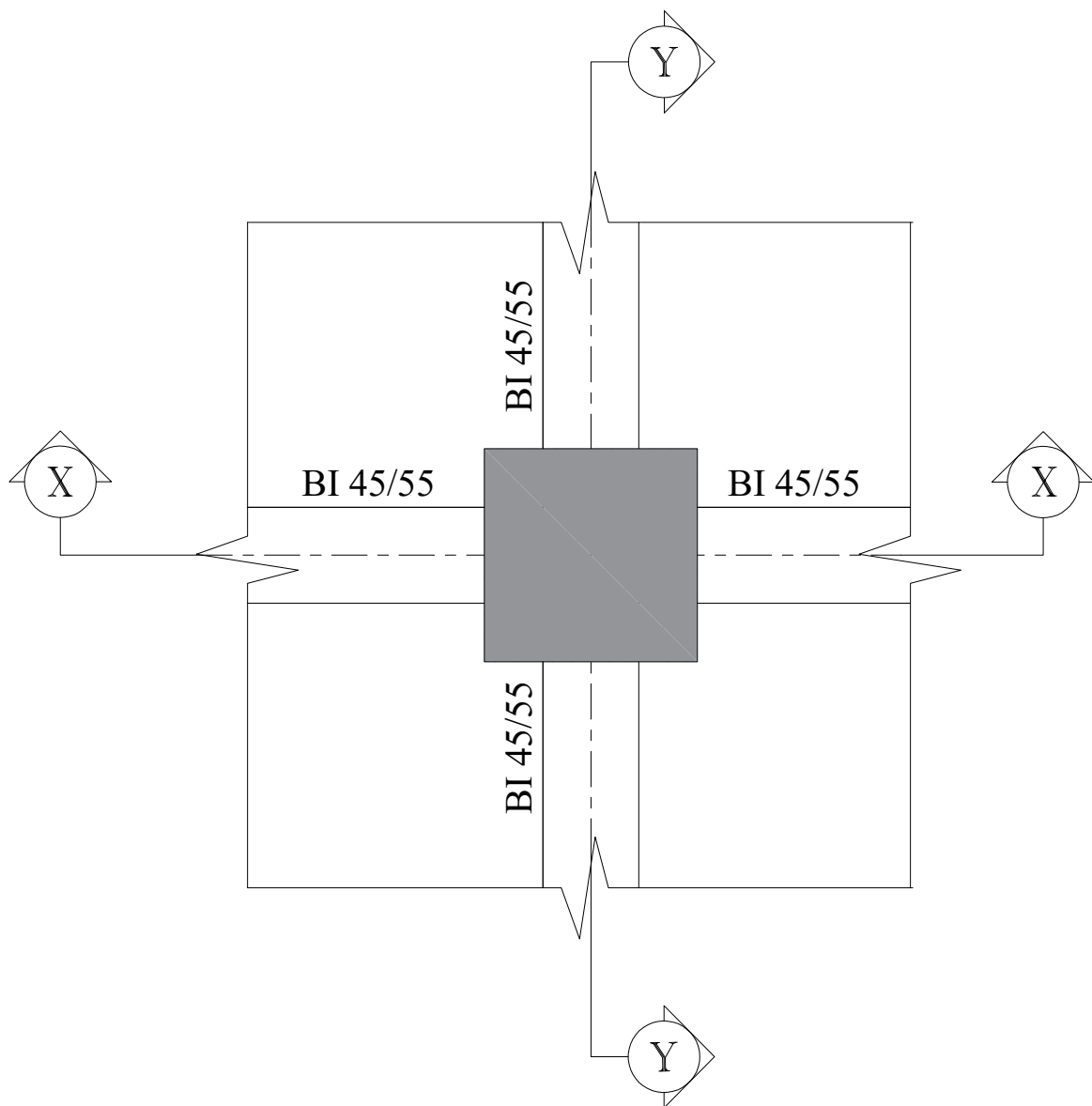
SKALA

1 : 30

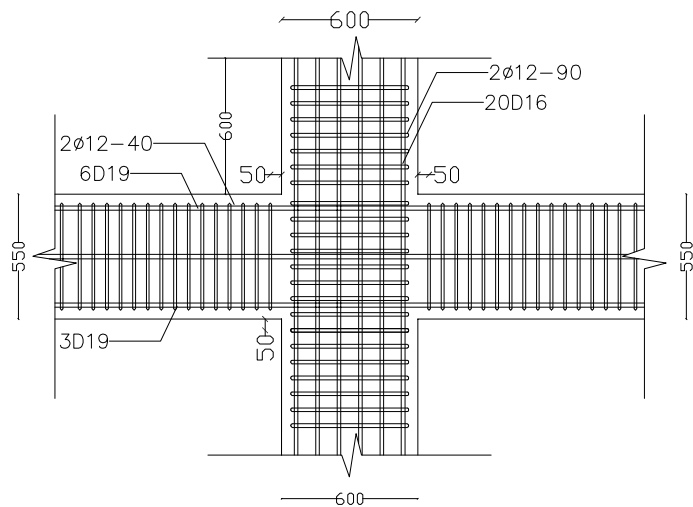
DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan : Apartemen  
Lokasi : Bekasi  
Kondisi Tanah : Sedang  
Metode Perencanaan : SRPMK & Balok Pratekan  
Periode Gempa : 2500 tahun  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur fy : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser fy : 240 Mpa  
- Balok, Plat : 25 Mpa  
- Kolom : 35 Mpa  
- Balok Pratekan : 40 Mpa

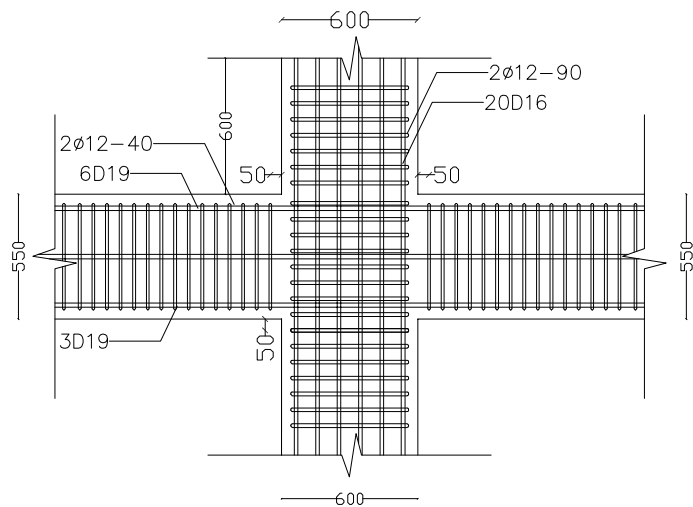
KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	21	33



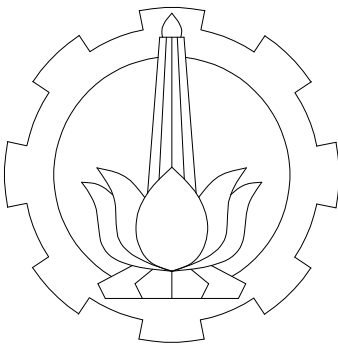
**DENAH KOLOM TIPE K1**  
SKALA 1:20



**DETAIL HBK POT. X-X**  
SKALA 1:30



**DETAIL HBK POT. Y-Y**  
SKALA 1:30



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMAN TEKNIK SIPIL

**JUDUL TUGAS AKHIR**

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN  
LENTUR BALOK PRATEGANG DI  
DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI  
2847:2013 DAN ACI 318M-14 PADA  
STRUKTUR APARTEMEN ENVIRO  
BEKASI

**DOSEN PEMBIMBING**

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001

Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

**MAHASISWA**

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

**JUDUL GAMBAR**

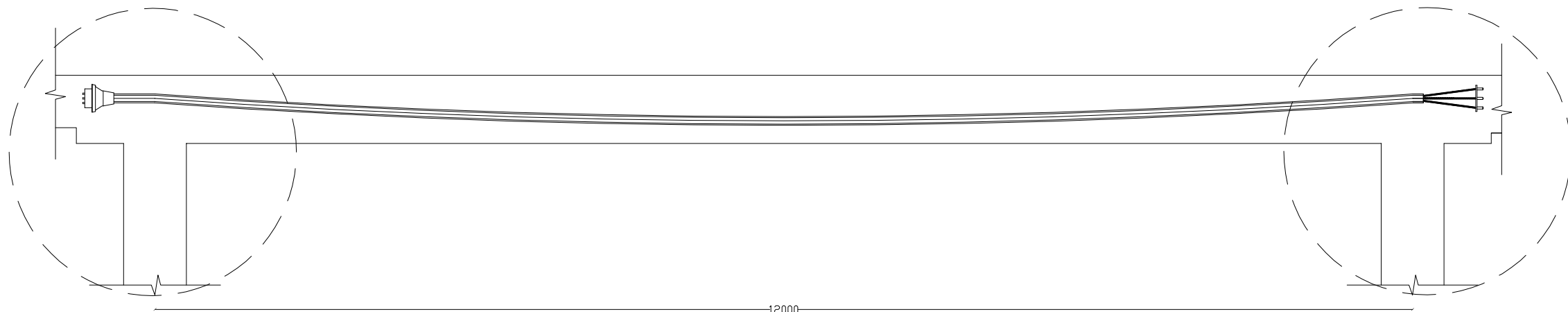
DETAIL HBK

**SKALA**

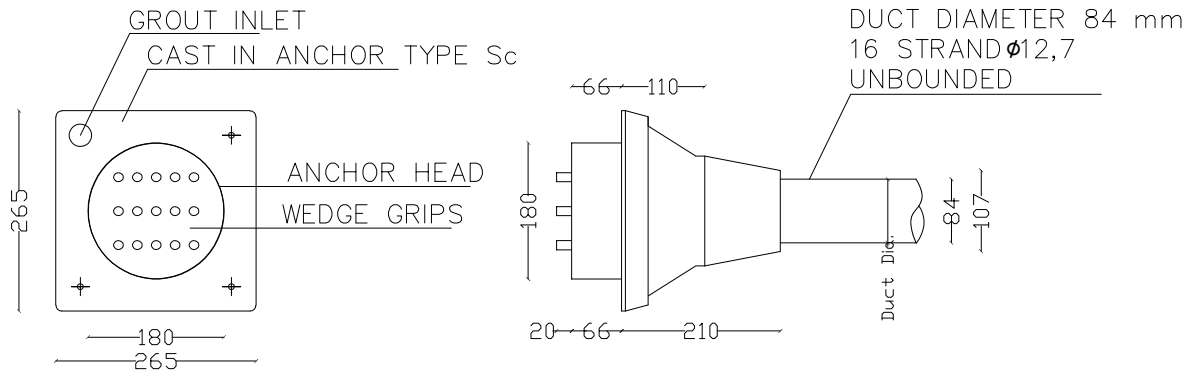
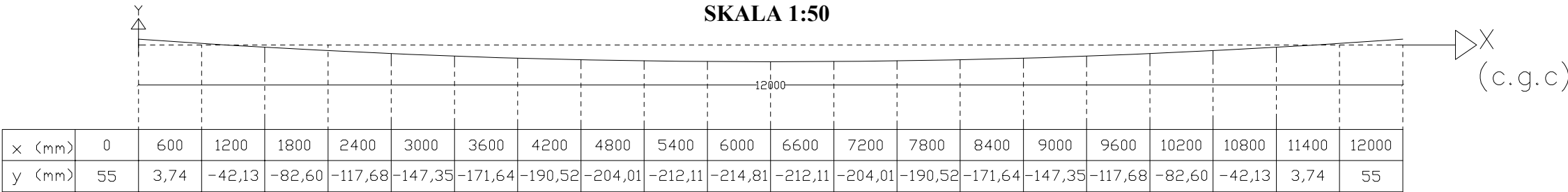
**DATA PERENCANAAN**

Fungsi Bangunan	: Apartemen
Lokasi	: Bekasi
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 25 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa

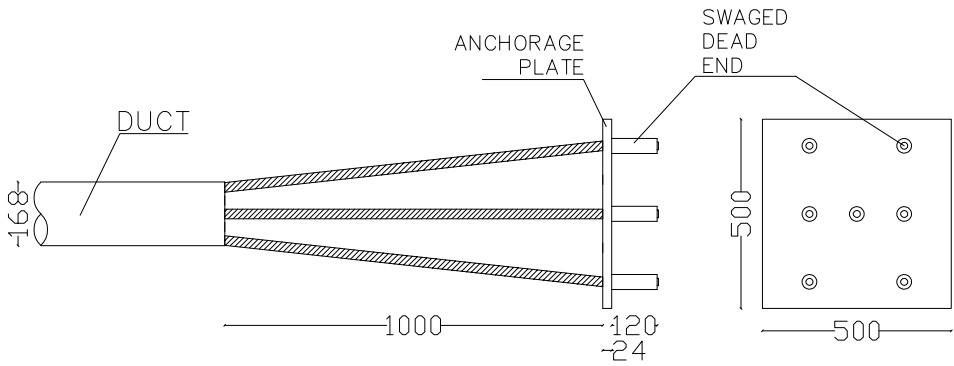
KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	22	33



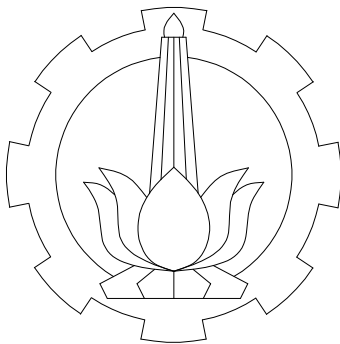
**DETAIL TENDON**  
**SKALA 1:50**



**DETAIL A (VSL STRESSING ANCHORAGE TYPE Sc)**  
**SKALA 1:10**



**DETAIL B (VSL DEAD END ANCHORAGE TYPE P)**  
**SKALA 1:10**



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMAN TEKNIK SIPIL

**JUDUL TUGAS AKHIR**

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN  
LENTUR BALOK PRATEGANG DI  
DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI  
2847:2013 DAN ACI 318M-14 PADA  
STRUKTUR APARTEMEN ENVIRO  
BEKASI

**DOSEN PEMBIMBING**

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001

Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

**MAHASISWA**

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

**JUDUL GAMBAR**

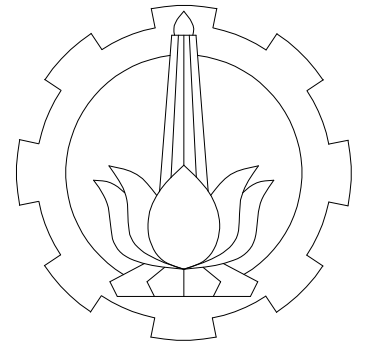
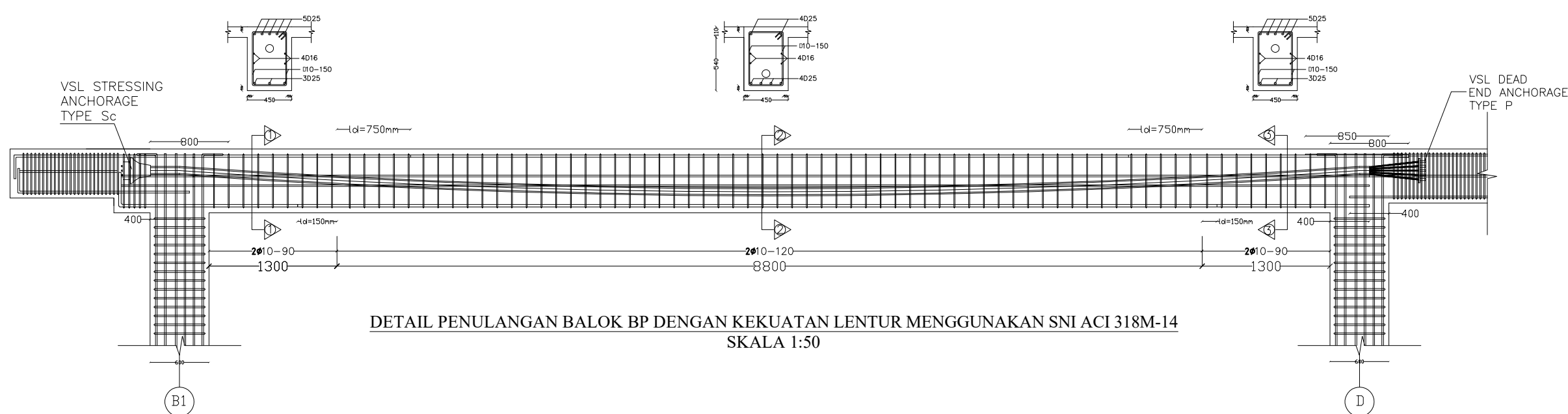
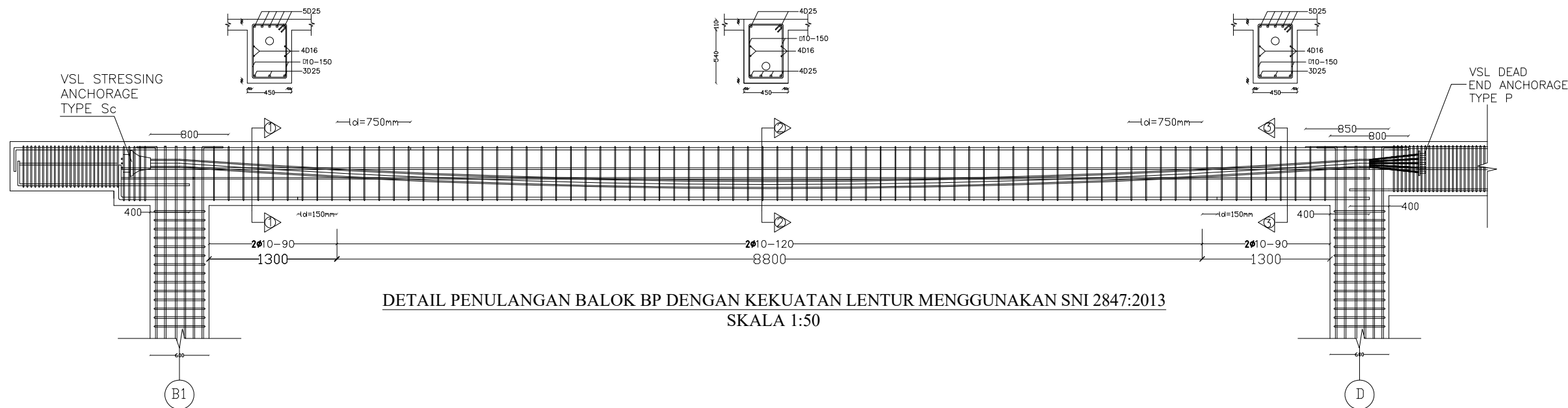
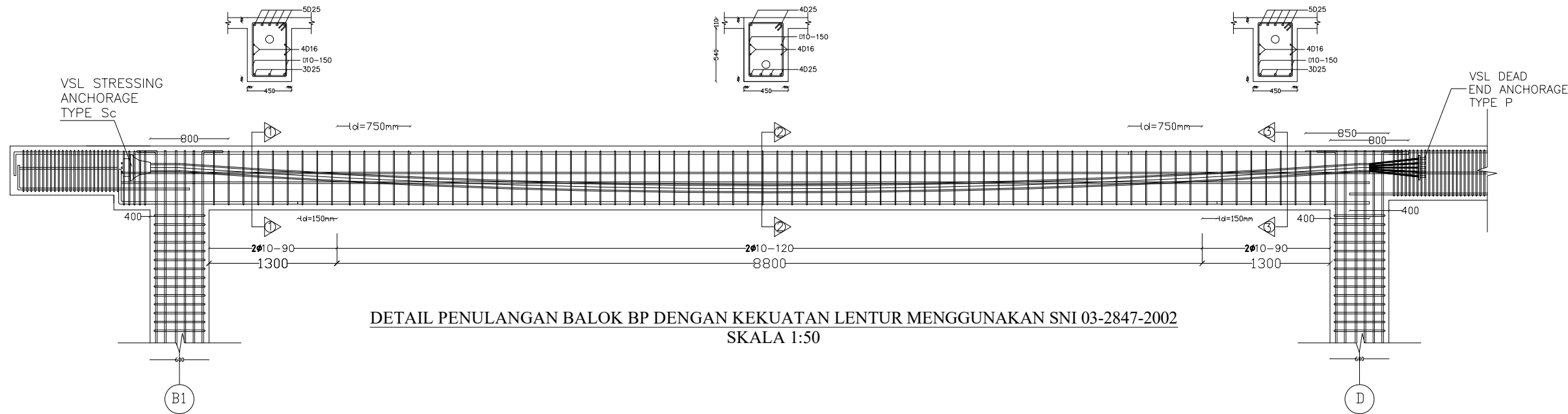
DETAIL TENDON  
DETAIL ANGKUR

**SKALA**

**DATA PERENCANAAN**

Fungsi Bangunan	: Apartemen
Lokasi	: Bekasi
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 25 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	23	33



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

### JUDUL TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN  
LENTUR BALOK PRATEGANG DI  
DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI  
2847:2013 DAN ACI 318M-14 PADA  
STRUKTUR APARTEMEN ENVIRO  
BEKASI

### DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001

Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

### MAHASISWA

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

### JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN BALOK  
PRATEGANG - SNI 2847:2013

### SKALA

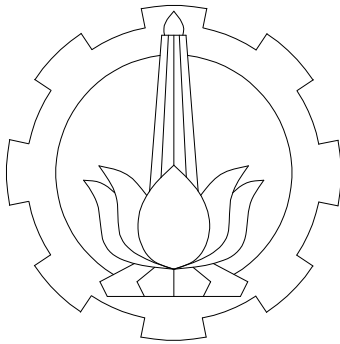
### DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	: Apartemen
Lokasi	: Bekasi
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur $f_y$	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser $f_y$	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 25 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	24	33

HASIL PERBANDINGAN KEKUATAN LENTUR BALOK PRATEGANG DENGAN MENGGUNAKAN SNI 02-3847-2002, SNI 2847:2013 DAN ACI 318M-14

SNI 03-2847-2002	
SNI 2847:2013	
ACI 318M-14	



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKINGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN KEKUATAN  
LENTUR BALOK PRATEGANG DI  
DAERAH RISIKO GEMPA  
BERDASARKAN SNI 03-2847-2002, SNI  
2847:2013 DAN ACI 318M-14 PADA  
STRUKTUR APARTEMEN ENVIRO  
BEKASI

DOSEN PEMBIMBING

Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP : 197003271997021001

Prof. Ir. I GUSTI PUTU RAKA  
NIP : 195004031976031003

MAHASISWA

HEMAS MUTIA ANGGRAINI  
NRP : 03111645000011

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN BALOK  
PRATEGANG - SNI 2847:2013

SKALA

DATA PERENCANAAN

Fungsi Bangunan	: Apartemen
Lokasi	: Bekasi
Kondisi Tanah	: Sedang
Metode Perencanaan	: SRPMK & Balok Pratekan
Periode Gempa	: 2500 tahun
Mutu Bahan	
- Baja Tul lentur fy	: 400 Mpa
- Baja Tul Geser fy	: 240 Mpa
- Balok, Plat	: 25 Mpa
- Kolom	: 35 Mpa
- Balok Pratekan	: 40 Mpa

KODE GBR	NO GBR	JML GBR
STR	25	33



# DRILLING LOG

BOREHOLE NO :

BH-3

PROJECT : Apartemen The Enviro

START DATE : 5 Juli 2013

LOCATION : Jababeka, Cikarang

END DATE : 12 Juli 2012

COORDINATE :

GWL : - 0.00 m (Drilling Water Level)

ELV. :

DRILLED BY : Sutarban

DEPTH : 60.45 m

LOGGED BY : Hasmi

Page 1

DEPTH (m)	SYMBOL	SAMPLE	SAMPLE DEPTH (m)	SOIL DESCRIPTION	N1	N2	N3	N-SPT	SPT
0	CH								
1									
2		SPT1	2.00-2.45	LEMPUNG lanauan, kuning kecoklatan, konsistensi sedang (medium stiff), plastisitas tinggi	2	3	3	6	
3		UDS-1	3.00-3.50						
4		SPT2	4.00-4.45		2	2	3	5	
5				konsistensi teguh (stiff)					
6		SPT3	6.00-6.45		3	4	6	10	
7		UDS-2	7.00-7.50						
8		SPT4	8.00-8.45	konsistensi teguh ke sangat teguh (stiff to very stiff)	4	5	7	12	
9		UDS-3	9.50-9.00						
10		SPT5	10.00-10.45		5	7	9	16	
11				konsistensi sangat teguh (very stiff)					
12		SPT6	12.00-12.45		5	8	10	18	
13									
14		SPT7	14.00-14.45	konsistensi teguh ke sangat teguh (stiff to very stiff)	5	8	9	17	
15									
16		SPT8	16.00-16.45		6	8	11	19	
17				konsistensi teguh ke sangat teguh (stiff to very stiff)					
18		SPT9	18.00-18.45		6	8	10	18	
19									
20		SPT10	20.00-20.45	LANAU lempungan, coklat keabu-abuan, konsistensi sangat teguh (very stiff), plastisitas rendah	5	7	9	16	
21									
22	ML	SPT11	21.50-20.95		10	12	15	27	
23		SPT12	23.00-23.45	konsistensi keras (hard)	12	14	17	31	
24		SPT13	24.50-24.95		12	15	18	33	
25		SPT14	26.00-26.45		12	16	20	36	
26				Konsistensi sangat teguh (very stiff)					
27		SPT15	27.50-27.95		10	15	18	33	
28									
29		SPT16	29.00-29.45	Konsistensi sangat teguh (very stiff)	12	14	17	31	
30									

REMARK :

Undisturbed Sample

Disturbed sample

Core Sample



# DRILLING LOG

BOREHOLE NO :

BH-3

PROJECT : Apartemen The Enviro

START DATE : 5 Juli 2013

LOCATION : Jababeka, Cikarang

END DATE : 12 Juli 2012

COORDINATE : -

GWL : - 0.00 m (Drilling Water Level)

ELV. : -

DRILLED BY : Sutarban

DEPTH : 60.45 m




LOGGED BY : Hasmi

Page 2

DEPTH (m)	SYMBOL	SAMPLE	SAMPLE DEPTH (m)	SOIL DESCRIPTION	N1	N2	N3	N-SPT	SPT
30	ML	SPT17	30.50-30.95	konsistensi keras (hard)	12	15	19	34	
31									
32		SPT18	32.00-32.45		17	50/13		> 50	
33		SPT19	33.50-33.95		35	50/10		> 50	
34									
35	SM	SPT20	35.00-35.45	PASIR lanauan, abu abu, sangat padat	55			> 50	
36	ML	SPT21	36.50-36.95	LANAU lempungan, abu-abu muda, konsistensi keras (hard), plastisitas rendah konsistensi sangat teguh (very stiff)	14	17	19	36	
37									
38		SPT22	38.00-38.45		7	10	12	22	
39		SPT23	39.50-39.95	konsistensi keras (hard)	12	17	20	37	
40									
41		SPT24	41.00-41.45		16	18	24	42	
42		SPT25	42.50-42.95		17	20	26	46	
43									
44		SPT26	44.00-44.45		12	16	20	36	
45									
46		SPT27	45.50-45.95		18	22	32	> 50	
47		SPT28	47.00-47.45		16	20	24	44	
48									
49		SPT29	48.50-48.95		16	22	26	48	
50		SPT30	50.00-50.45		15	15	18	33	
51									
52		SPT31	51.50-51.95	konsistensi sangat teguh (very stiff)	13	15	18	33	
53		SPT32	53.00-53.45		10	12	15	27	
54		SPT33	54.50-54.95		16	23	27	50	
55		SPT34	56.00-56.45		18	56		> 50	
56									
57		SPT35	57.50-57.95		25	26	30	> 50	
58									
59		SPT36	59.00-59.45		30	40	20/5	> 50	
60		SPT37	60.00-60.45	konsistensi sangat teguh (very stiff)	12	13	17	30	

DRILLING STOPPED AT 60.45 METER

REMARK :

-  : Undisturbed Sample
-  : Disturbed sample
-  : Core Sample



# LABORATORY TEST RESULT

**PROJECT** : ENVIRO APARTEMENT (ADD. TEST)  
**LOCTION** : JABABEKA CIKARANG

BORING NO.		BH-3	BH-3	BH-3
DEPTH (m)		3,00-3,50	7,50-7,50	9,00-9,50
SAMPLE NO		UDS1	UDS2	UDS3
I N D E X	<b>VOLUMIC WEIGHT</b>			
	Spesific Gravity (Gs)	2.625	2.664	2.648
	Natural Water Content (w) %	29.49	23.83	22.70
	Bulk Density (g m) g/cc	1.84	1.87	1.88
	Dry Density (g d) g/cc	1.42	1.51	1.53
	Void Ratio (e)	0.46	0.44	0.43
	Porosity (n)	0.84	0.78	0.74
	Degree of Saturation (Sr) %	91.65	81.54	81.16
	<b>ATTERBERG LIMITS</b>			
	Liquid Limits (LL) %	55	64	64
	Plastic Limits (PL) %	22	28	23
	Plasticity Index (PI) %	33	36	41
	<b>SHRINKAGE LIMITS (Ws) %</b>	-	-	-
	<b>HIDROMETER ANALYSIS</b>			
	Gravel %	0.20	0.00	0.40
	Sand %	5.26	5.62	5.60
	Silt %	52.00	38.54	43.87
	Clay %	42.54	55.84	50.13
E N G I N E R I N G	<b>CONSOLIDATION TEST</b>			
	Coefficient of Consolidation (Cv) cm <sup>2</sup> /year	0.86	0.51	0.39
	Compression Index (Cc)	0.26	0.23	0.21
	Pc kg/cm <sup>2</sup>	1.30	1.50	1.50
	Po kg/cm <sup>2</sup>	0.55	1.31	1.69
	Free Swell %	4.88	0.56	1.31
	Swelling Pressure kg/cm <sup>2</sup>	1.20	0.35	0.40
	<b>TRIAxIAL (UU TEST)</b>			
	Cohesion (c) kg/cm <sup>2</sup>	0.14	0.23	0.54
	Friction Angle (f) deg	8.50	11.30	11.50
	<b>UNCONFINED COMPRESSION TEST</b>			
	qu (undisturbed) kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-
	qu (remolded) kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-
	sensitivity kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-
	<b>COMPACTION</b>			
	Optimal Water Content (W opt) %	-	-	-
	Maximum Dry Density (g d max) g/cc	-	-	-
	<b>C B R</b>			
	CBR Design %	-	-	-
	<b>PERMEABILITY</b>			
	Coefficient of permeability (k x -07) cm/sec	-	-	-
	<b>UNIFIED CLASSIFICATION</b>	CH	CH	CH



# BROSUR TENDON PRATEGANG

## MULTISTRAND POST-TENSIONING



### STRAND PROPERTIES – TO AS1311

Nominal Diameter	Nominal Steel Area	Nominal Mass	Minimum Breaking Load	Minimum Proof Load (0.2% Offset)	Min. Elong. to Fracture in 600mm	Relaxation After 1,000hrs at 0.7 Breaking Load	Modulus of Elasticity
mm	mm <sup>2</sup>	kg/m	kN	kN	%	%	MPa
12.7	100.1	0.786	184	156.4	3.5	2.5	180-205
15.2	143.3	1.125	250	212.5	3.5	2.5	x 10 <sup>3</sup>

### TENDON PROPERTIES

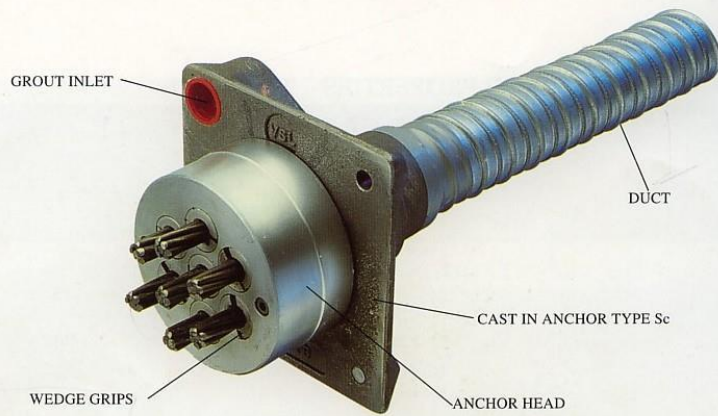
STRAND TYPE 12.7mm			
TENDON UNIT	No. OF STRANDS	Minimum Breaking Load kN	STEEL DUCT. Internal Diameter mm
5-3	2	368	39
	3	552	39
5-7	4	736	51
	5	920	51
	6	1100	51
	7	1290	51
5-12	8	1470	69
	9	1660	69
	10	1840	69
	11	2020	69
	12	2210	69
5-19	13	2390	84
	14	2580	84
	15	2760	84
	16	2940	84
	17	3130	84
	18	3310	84
	19	3500	84
5-22	20	3680	90
	21	3860	90
	22	4050	90
5-27	23	4230	96
	24	4420	96
	25	4600	96
	26	4780	96
5-31	27	4970	96
	28	5150	105
	29	5340	105
	30	5520	105
	31	5700	105
5-37	32	5890	115
	33	6070	115
	34	6260	115
	35	6440	115
	36	6620	115
5-42	37	6810	115
	38	6990	118
	39	7180	118
	40	7360	118
	41	7540	118
5-48	42	7730	118
	43	7910	127
	44	8100	127
	45	8280	127
	46	8460	127
5-55	47	8650	127
	48	8830	127
	49	9020	135
	50	9200	135
	51	9380	135
	52	9570	135
	53	9750	135
	54	9940	135
	55	10120	135

STRAND TYPE 15.2mm			
TENDON UNIT	No. OF STRANDS	Minimum Breaking Load kN	STEEL DUCT. Internal Diameter mm
6-3	2	500	39
	3	750	39
6-4	4	1000	51
6-7	5	1250	69
	6	1500	69
	7	1750	69
6-12	8	2000	84
	9	2250	84
	10	2500	84
	11	2750	84
	12	3000	84
6-19	13	3250	96
	14	3500	96
	15	3750	96
	16	4000	96
	17	4250	96
	18	4500	96
	19	4750	96
6-22	20	5000	105
	21	5250	105
	22	5500	105
6-27	23	5750	115
	24	6000	115
	25	6250	115
	26	6500	115
	27	6750	115
6-31	28	7000	118
	29	7250	118
	30	7500	118
	31	7750	118
6-37	32	8000	127
	33	8250	127
	34	8500	127
	35	8750	127
6-42	36	9000	135
	37	9250	135
	38	9500	135
	39	9750	135
	40	10000	135
	41	10250	135
6-48	42	10500	135
	43	10750	144
	44	11000	144
	45	11250	144
	46	11500	144
	47	11750	144
	48	12000	144
6-55	49	12250	154
	50	12500	154
	51	12750	154
	52	13000	154
	53	13250	154
	54	13500	154
	55	13750	154

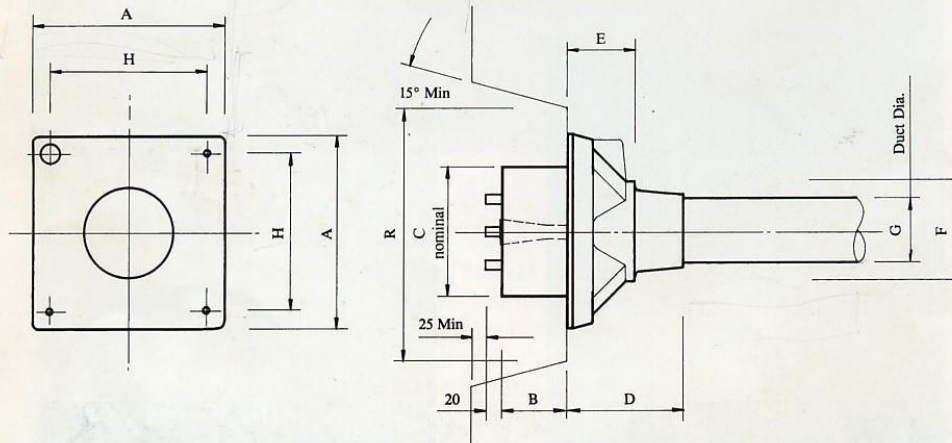
- Note: 1. Intermediate duct diameters may be available on application.  
 2. Duct diameters are for corrugated steel duct.  
 3. Duct external dia. = I. Dia. + 6mm nominal  
 4. Corrugated polyethylene PT-Plus™ duct is also available, refer page 14.  
 5. For special applications other strand and tendon capacities are available.



## MULTISTRAND POST-TENSIONING



VSL STRESSING ANCHORAGE TYPE Sc  
LIVE END



TENDON UNIT		Dimensions (mm)								
		A	B	C	D	E	F	G Int. Dia.	H	R
STRAND TYPE 12.7mm	*5-3P	135	57	90	191	16	56	39	116	210
	*5-4P	150	57	90	216	16	64	39	125	210
	5-7	165	57	120	100	60	85	51	125	275
	5-12	215	54	160	160	84	120	69	151	320
	5-19	265	66	180	210	110	145	84	200	360
	5-22	290	77	200	215	140	153	90	230	360
	5-27	315	92	220	250	160	176	96	250	360
	5-31	315	92	230	250	161	175	105	250	360
	5-37	370	107	250	320	160	200	115	305	650
	5-42	390	112	290	346	168	217	118	325	650
	5-48	430	122	300	340	161	233	127	365	750
	5-55	465	142	320	340	160	400	135	400	750
STRAND TYPE 15.2mm	*6-3P	150	60	90	190	16	56	39	116	210
	*6-4P	165	54	120	100	60	85	51	125	270
	6-7	215	54	160	160	85	120	69	150	320
	6-12	265	66	180	210	110	145	84	200	360
	6-19	315	92	220	250	160	175	96	250	360
	6-22	315	92	230	250	160	175	105	250	360
	6-27	370	107	250	320	160	200	115	305	650
	6-31	390	112	290	340	160	217	118	325	650
	6-37	430	122	300	340	160	235	135	365	750
	6-42	465	142	320	340	160	250	135	400	750
	*6-48P	575	155	340	1035	110	269	144	495	900
	*6-55P	600	190	360	1070	120	294	154	520	900

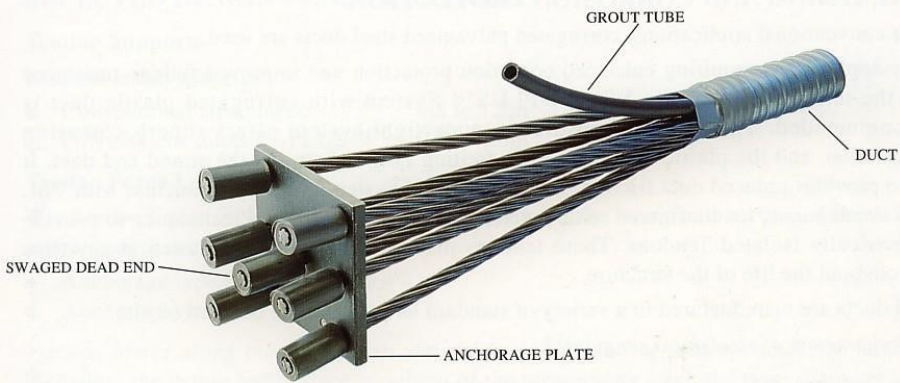
Note: Dimension R does not allow for Lift Off force check. Smaller recesses can be provided for special cases.

Refer VSL office for details.

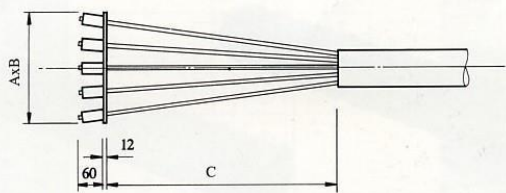
\*Plate type anchorages (Type P). Also available for other tendon units.



# MULTISTRAND POST-TENSIONING



VSL DEAD END ANCHORAGE TYPE P



STRAND TYPE 12.7mm			
TENDON UNIT	A	B	C
Dimensions (mm)			
5-3	100	100	100
5-4	120	120	150
5-7	150	150	250
5-12	200	200	350
5-19	250	250	500
5-22	300	250	500
5-27	300	300	650
5-31	350	300	650
5-37	375	350	850
5-42	375	375	850
5-48	400	400	1000
5-55	425	425	1000

STRAND TYPE 15.2mm			
TENDON UNIT	A	B	C
Dimensions (mm)			
6-3	150	150	250
6-4	150	150	250
6-7	200	200	350
6-12	250	250	500
6-19	300	300	500
6-22	300	300	500
6-27	350	350	650
6-31	350	350	650
6-37	400	350	850
6-42	400	350	850
6-48	475	475	1000
6-55	550	475	1000

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
**PROGRAM SARJANA LINTAS JALUR**  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FTSLK – ITS

**BERITA ACARA PENYELENGGARAAN UJIAN  
SEMINAR DAN LISAN  
TUGAS AKHIR**

Pada hari ini Selasa tanggal 24 Juli 2018 jam 12.00 WIB telah diselenggarakan **UJIAN SEMINAR DAN LISAN TUGAS AKHIR** Program Sarjana Lintas Jalur Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS bagi mahasiswa:

NRP	Nama	Judul Tugas Akhir
03111645000011	Hemas Mutia Anggraini	Studi Perbandingan Kekuatan Lentur Balok Prategang di Daerah Risiko Gempa Berdasarkan SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013 dan ACI 318M-14 pada Struktur Apartemen Enviro Bekasi

Dengan Hasil :

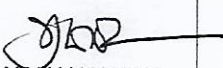

<input type="checkbox"/> Lulus Tanpa Perbaikan	<input type="checkbox"/> Mengulang Ujian Seminar dan Lisan
<input checked="" type="checkbox"/> Lulus Dengan Perbaikan	<input type="checkbox"/> Mengulang Ujian Lisan

Dengan perbaikan/penyempurnaan yang harus dilakukan adalah :

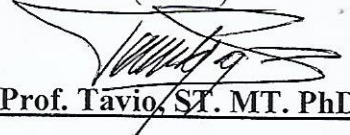
*- Struktur & D12 diganti ulas D12*

*- Perbaikan harus naring = bebaya di bahas. & sama.*

*- Koneksi*

Tim Penguji (Anggota)	Tanda Tangan
Budi Suswanto, ST. MT. PhD	
Dr. techn. Pujo Aji, ST. MT	

Surabaya, 24 Juli 2018  
Dosen Pembimbing I  
(Ketua)

  
**Prof. Tawio, ST. MT. PhD**

Dosen Pembimbing 2  
(Sekretaris)

  
**Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka**

Dosen Pembimbing 3  
(Sekretaris)





Form AK/TA-04  
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS  
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 601111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Prof. TAVIO, ST., MT., PhD
NAMA MAHASISWA	: HEMAS MUTIA ANISRAINI
NRP	: 03111645000011
JUDUL TUGAS AKHIR	: Studi Perbandingan kekuatan Lentur Balok Prategang di Daerah Risiko Gempa Berdasarkan SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013 dan ACI 218M-14 pada Struktur Apartemen Enviro Bekasi
TANGGAL PROPOSAL	: 25 Januari 2018
NO. SP-MMTA	: 025736 /IT2. WI.4.1. /PP.05.02.00/2018.

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.	8/3 2018.	- Preliminary Design.	- Lanjutkan hit. pembebanan.	
2.	22/3 2018.	- Beban angin, salju, hujan tidak dihitung. - Beban mati bila pakai PIVG	- lanjutkan perhitungan sekunder permodelan	
3.	20/4 2018.	- Menghitung momen plat pakai PSI - Beban hidup tangga pakai beban hidup plat.	- Lanjutkan perhitungan beban gempa dan permodelan.	
4.	18/5 2018.	- Cek kontrol gempa - jumlah ragam diperhatikan	- perhitungan struktur utama.	
5.	04/2018. 06	- Lantai paling atas tidak perlu di cek strong coloum weak beam. - PCACOL menggunakan typtikal. - partial prestress 25 % (terhadap gempa).		





PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS  
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



Form AK/TA-04  
rev01

NAMA PEMBIMBING	: Prof. Dr. Ir. I. Gusti Puh Raka
NAMA MAHASISWA	: HEMAS MUTIA ANGGRAINI
NRP	: 03111645000011
JUDUL TUGAS AKHIR	: Studi Perbandingan kekuatan lentur Balok Prategang di Daerah Risiko gempa Berdasarkan SNI 03-2847-2002, SNI 2847:2013 dan ACI 318M-14 pada Struktur Apartemen Enviro Bekasi
TANGGAL PROPOSAL	: 25 Januari 2018
NO. SP-MMTA	: 025756 / IT2.VI4.1 / PP.05.02.00/2018.

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.	22/3/17	Preliminary Desain	Lanjutkan permodelan dan perhitungan Struktur Sekunder.	
2.	20/4/18.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pembebanan untuk air hujan diperhitungkan</li> <li>tidak memperhitungkan beban angin.</li> <li>untuk pembebanan digunakan brosur sebagai bukti.</li> </ul>	lanjutan beban gempa.	
3.	31/5/2018.	<ul style="list-style-type: none"> <li>skenario pengecoran balok prategang dan balok anak.</li> <li>Moment saat transfer → hit manual</li> <li>moment saat service → etabs.</li> </ul>		

## **BIODATA PENULIS**

### **Hemas Mutia Anggraini**



Penulis dilahirkan di Bekasi, 02 November 1994, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Al Munawwar Tulungagung, SDN Kampung Dalem 1 Tulungagung, SMPN 1 Tulungagung, SMAN 1 Boyolangu, DIII Teknik Sipil – ITS. Setelah lulus dari Program DIII yang diselenggarakan oleh ITS dan diterima di departemen Lintas Jalur S1 Teknik Sipil FTSLK – ITS tahun 2016 dan terdaftar dalam NRP 3116105011. Di Departemen S1 Teknik Sipil, penulis mengambil bidang studi Struktur. Penulis pernah aktif dalam organisasi Paduan Suara Mahasiswa ITS (PSM ITS) sebagai anggota aktif dan pengurus dalam departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM) (periode 2014-2015, 2015-2016).